

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**SOLARIZACIÓN DE SUELOS PARA EL CONTROL DE
MALEZAS, HONGOS Y NEMATODOS, CAUSANTES DE
ENFERMEDADES Y REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO
EN CULTIVOS AGRÍCOLAS**

CASO DE ESTUDIO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA

HERMINIA JERONIMO ANTONIO



CENTRO DE INFORMACIÓN

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO DE 2007

26 OCT 2007

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

**SOLARIZACIÓN DE SUELOS PARA EL CONTROL DE
MALEZAS, HONGOS Y NEMATODOS, CAUSANTES DE
ENFERMEDADES Y REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO
EN CULTIVOS AGRÍCOLAS**

PRESENTADO POR:

HERMINIA JERONIMO ANTONIO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

Ha sido dirigido por:



Ph.D. R. HUGO LIRA SALDIVAR

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2007

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HA TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO
DE ESTUDIO TITULADO:

**SOLARIZACIÓN DE SUELOS PARA EL CONTROL DE
MALEZAS, HONGOS Y NEMATODOS, CAUSANTES DE
ENFERMEDADES Y REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO
EN CULTIVOS AGRÍCOLAS**

QUE PRESENTA:

HERMINIA JERONIMO ANTONIO

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESIDENTE

PH.D. LUIS IBARRA JIMÉNEZ

VOCAL

Romero

PH.D. JORGE ROMERO GARCÍA

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2007

CONTENIDO

Índice		i
Índice de Figuras		ii
Índice de Cuadros		iii
I.- INTRODUCCION.....		1
II.- REVISION BIBLIOGRAFICA.....		3
¿Que es la solarización del suelo?.....		3
Antecedentes históricos, objetivos e importancia de la solarización.....		4
Solarización como alternativa al bromuro de metilo y otras opciones químicas y no químicas.....		5
Tecnología utilizada en la solarización del suelo.....		10
Tipo de plástico y colocación.....		10
Época y duración de la solarización.....		14
Recomendaciones para mejorar la efectividad de la solarización.....		14
Microtopografía y humedad del suelo.....		14
Temperatura del suelo		14
Bacterias y hongos benéficos que sobreviven la solarización.....		15
Balance de energia en la superficie del suelo asociada a la solarización.....		19
III.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA.....		20
Control de diversos tipos de hongos y algas del suelo con la solarización.....		20
Combinación de la solarización con bromuro de metilo y metan sodio para el control de enfermedades en cultivos hortícolas.....		27
Solarización e incorporación de compuestos biológicos, orgánicos y químicos, para el manejo de nemátodos en campo e invernadero.....		33
Control de malezas anuales y perennes con la solarización.....		41
Mayor disponibilidad de nutrimentos mediante la solarización.....		48
Efecto de la solarización en el incremento del rendimiento.....		48
IV.- AREAS DE OPORTUNIDAD PARA LA SOLARIZACIÓN.....		49
V.- CONCLUSIONES.....		52
VI.- RECOMENDACIONES.....		52
VII.- LITERATURA CITADA.....		53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Principios básicos de la solarización de suelos. La radiación solar puede penetrar fácilmente la película de plástico transparente o de otro color, pero la radiación emitida por el suelo (normalmente a una longitud de onda más larga), no puede pasar a través del acolchado creando en su interior el “efecto invernadero”.....	3
Figura 2	La destrucción de la capa de ozono ocurre tanto en el hemisferio norte como en el sur, sin embargo es en la Antártica donde se ha encontrado un mayor daño, formando el “agujero en la capa de ozono”. Este “agujero” alcanzó los 25 millones de km ² a fines de 1998, una superficie equivalente a la que existe en los países de Canadá, Estados Unidos, México y Centroamérica.....	6
Figura 3	Colocación de la película de polietileno transparente para solarizar en campo abierto las camas de siembra con acolchadora mecánica (A) y de forma manual (B).....	12
Figura 4	Ilustraciones del tipo de acolchado total (A) y parcial de suelo (B) en condiciones de invernadero para realizar la solarización en ambientes cerrados.....	13
Figura 5	Longitud de onda de la radiación solar en el rango completo de la radiación ultravioleta a la infrarroja que es la que induce el calentamiento requerido para la técnica de solarización de suelos.....	15
Figura 6	Balance de energía en la tierra en función del valor total de la energía radiante del sol que incide sobre la superficie del planeta.....	19
Figura 7	Supervivencia de <i>Fusarium proliferatum</i> a diferentes temperaturas.....	22
Figura 8	Efecto de la solarización del suelo en la temperatura máxima registrada bajo una doble película de LDPE a 5, 15, y 23 cm entre las 14:30 y 15:30 horas. (A) Temperaturas registradas durante el primer año de solarización. (B) Temperaturas registradas durante el segundo año.....	27
Figura 9	Temperatura promedio alcanzada en los tratamientos con incorporación de materia orgánica y solarización, y en el suelo testigo (control) sin solarizar.....	34
Figura 10	Número total de nematodos extraídos del suelo en muestras de campo de Khumaltar (a) y Rampur (b). S = suelo solarizado; N = no solarizado. Las letras indican la diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos. Las barras del error representan una desviación estándar de medias.....	36
Figura 11	Promedio de temperaturas máximas del suelo a la profundidad de 5 y 10 cm en Khumaltar (a) y Rampur (b). S = solarizado; N = no solarizado. Las barras del error representan una desviación estándar de medias.....	37
Figura 12	(A) Países proveedores de hortalizas para EUA durante el 2006 (% valor) (B) Países proveedores de frutas para EUA durante el 2006 (% valor).....	41

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Diversidad de hongos aislados y contenido de materia orgánica después de solarizar durante 60 días y con tratamientos de productos químicos).....	18
Cuadro 2	Hongos fitopatógenos que han sido controlados con solarización.....	21
Cuadro 3	Efecto de la solarización (durante 69 días) sobre la sobrevivencia de propágulos de <i>Fusarium proliferatum</i> en el suelo.....	22
Cuadro 4	Efecto de la solarización del suelo en densidades del propágulos <i>Phytophthora nicotianae</i> , desarrollo e incidencia final de la enfermedad <i>catharanthus roseus</i> cv. Pink Cooler.....	23
Cuadro 5	Temperatura del suelo en parcelas solarizadas y no solarizada.....	24
Cuadro 6	Incidencia de hongos de las raíces de las plantas de fresa desarrolladas en suelos solarizados, durante el mes de julio antes de la solarización y en el mes de septiembre inmediatamente después de la solarización.....	25
Cuadro 7	Efecto del calentamiento del suelo con temperatura controlada en la viabilidad de <i>Monosporascus cannonballus</i> determinado por el numero de conidias y clamidosporas de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i> (FOM) en las raíces de plántulas de melón.....	26
Cuadro 8	Efecto de la solarización y fumigación con bromuro de metilo en la densidad poblacional de <i>Fusarium</i> spp. a una profundidad de suelo de 20 cm.....	29
Cuadro 9	Número de patógenos de varias especies de hongos obtenidas durante tres años en plantas de fresa sembradas bajo túneles cubiertos con plástico.....	30
Cuadro 10	Temperaturas registradas a 0, 10 y 20 cm del perfil del suelo en parcelas solarizadas (S) y no solarizadas (NS).....	31
Cuadro 11	Porcentaje de las plantas muertas a la cosecha de la fresa obtenidas de varios tratamientos durante los ciclos 2002-2003 y 2003-2004.....	32
Cuadro 12	Temperatura promedio alcanzada en los tratamientos con incorporación de materia orgánica y solarización, y en el suelo testigo sin solarizar.....	34
Cuadro 13	Efecto de la solarización en la población de nematodos patógenos de las plantas, datos obtenidos de dos campos (1 y 2).....	38
Cuadro 14.	Efecto de la incorporación de amonio en el suelo sobre la población <i>Belonolaimus longicaudatus</i> y <i>Criconemella</i> spp.....	38
Cuadro 15	Porcentaje de huevecillos de <i>Schachtii heterodera</i> después de la exposición en el suelo en diversas combinaciones de temperatura y tiempo.....	39
Cuadro 16	Temperaturas del suelo (°C) a una profundidad de 10 cm durante la solarización y la diferencia de temperatura entre el suelo solarizado y no solarizado.....	40
Cuadro 17	Susceptibilidad de diferentes especies de malezas a solarización del suelo.....	42
Cuadro 18	Altura (cm) de las plantas de duraznos y naranjos.....	43
Cuadro 19	Porcentaje de reducción de la población de malezas de <i>Orobanche</i> spp y producción media de tomate en suelo acolchado con películas de polietileno transparente.....	46
Cuadro 20	Porcentaje de reducción de la población de malezas de <i>Orobanche</i> spp y producción media de tomate en suelo acolchado con películas de polietileno negro.....	46

INTRODUCCION

La necesidad de incrementar la eficiencia en las medidas fitosanitarias empleadas actualmente en la producción agrícola ha originado el desarrollo de técnicas que permiten la utilización de fuentes primarias de energía. Estas fuentes como la energía solar, pueden ser utilizadas de manera práctica en ciertas latitudes y en condiciones climáticas adecuadas para impactar negativamente el ambiente óptimo de la población de hongos, malezas y nematodos, y de este modo, evitar y/o regular el aumento de su población (Rosado, 2005).

La solarización es una alternativa para la desinfección de suelos, esta técnica consiste en cubrir el suelo con un plástico transparente de polietileno (PE). La solarización del suelo es un proceso natural hidrotérmico de desinfección del suelo de patógenos de las plantas que se logra a través de la calefacción solar pasiva (Freire-Ricci, 2006). La solarización ocurre con una combinación de efectos físicos, químicos y biológicos, y puede ser eficaz desinfectante del suelo en numerosas áreas geográficas para ciertos usos agrícolas y hortícolas. La solarización se realiza antes del transplante para controlar patógenos y parásitos del suelo y puede ser una alternativa viable al bromuro metílico (BM) para cultivos protegidos de ciclo corto (Stapleton, 2000).

Actualmente la solarización es una práctica importante y extensa que se viene utilizando comercialmente en una escala relativamente pequeña en todo el mundo pero se espera incrementar su uso como sustituto al extremadamente tóxico Bromuro de metilo (BM), el cual es el principal fumigante químico, mismo que debe ser eliminado debido a sus características adversas al medio ambiente, los humanos y sobre todo por el daño que le esta causando a la capa de ozono (Candole *et al.*, 2007). El uso principal de la solarización está orientado a cultivos hortícolas conjuntamente con áreas de cultivo bajo invernadero. La solarización en invernadero es muy común en zonas semidesérticas del mediterráneo cerca del medio oriente, y en algunas localidades del este asiático. Otro uso de la solarización es para la desinfección de las camas de los almácigos, y los medios de cultivo en contenedores o macetas (Stapleton, 2000).

Además de desinfectar el suelo mientras se reduce o elimina la necesidad de fumigantes, la solarización no deja ningún residuo tóxico, aumenta los niveles de elementos minerales disponibles en los suelos, materia orgánica soluble y aumenta la diversidad microbiana, cambia la microflora del suelo a favor de los organismos benéficos, conserva el agua, y puede servir como acolchado durante el ciclo de crecimiento cuando la película de plástico es colocada en bandas (Pinkerton, 2002).

La eficacia de la solarización del suelo depende de la dosis termal producida por la radiación solar, la temperatura y el tiempo de exposición, así como la sensibilidad térmica de los organismos, y de las características químicas, físicas, y biológicas del suelo, incluyendo el contenido de agua (Pinkerton *et al.*, 2000), sin embargo, la solarización no controla todos los patógenos del suelo (Gilreath *et al.*, 1999). En áreas con clima templado la solarización se puede utilizar conjuntamente con otros métodos de control biológico para proporcionar un efecto mortal o subletal sustituyendo eficazmente al bromuro de metilo (BM) (Barros, 2004). Se sabe que la solarización afecta no sólo patógenos presentes en el suelo, sino también muchos otros organismos y factores abióticos que afectan indirectamente el desarrollo y el crecimiento de las plantas. Además, los efectos de la solarización en la producción y la economía agrícola se pueden influenciar por muchos factores, haciendo la validación en campo un paso imprescindible antes de formular una recomendación con respecto a la solarización del suelo (Campelo *et al.*, 2006). Por lo tanto, los objetivos que se plantearon en este caso estudio fueron los siguientes.

Objetivo general y específicos

El objetivo de este trabajo es analizar información técnico-científica, para que con base en reportes recientes de la literatura, se logren identificar los efectos de la solarización en el control de malezas, hongos y nematodos; en el incremento de macro y micro nutrientes y en la calidad y rendimiento de cultivos hortofrutícolas. Los objetivos específicos de este trabajo son:

- ♦ Definir los mecanismos que promueven los cambios bioquímicos y microbiales que ocurren en el suelo, dentro de invernadero y en el campo, durante el proceso de solarización.

- ◆ Caracterizar los principios físicos del calentamiento solar causado por el acolchado plástico utilizado para solarizar dentro y fuera de los invernaderos.
- ◆ Precisar cuales son los mecanismos de acción de la solarización que provocan la muerte o inactivación de los microorganismos fitopatógenos del suelo.
- ◆ Puntualizar los cambios químicos, físicos y microbiológicos relacionados con el incremento y rendimiento de los cultivos solarizados.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

¿Que es la solarización del suelo?

La solarización es una técnica de desinfección de suelos “no contaminante” que consiste en el aprovechamiento de la energía solar mediante la utilización de plástico transparente de PE durante el periodo más calido del año para crear el efecto invernadero (Figura 1); de esta manera se incrementa la temperatura del suelo hasta un nivel que resulta ser letal para los microorganismos patógenos y el banco de semillas de malezas (Gamliel 2000; Pinkerton, 2002). Esta es una técnica ecológica, económica y que tiene un buen control sobre plagas y enfermedades del suelo (Campelo *et al.*, 2006).

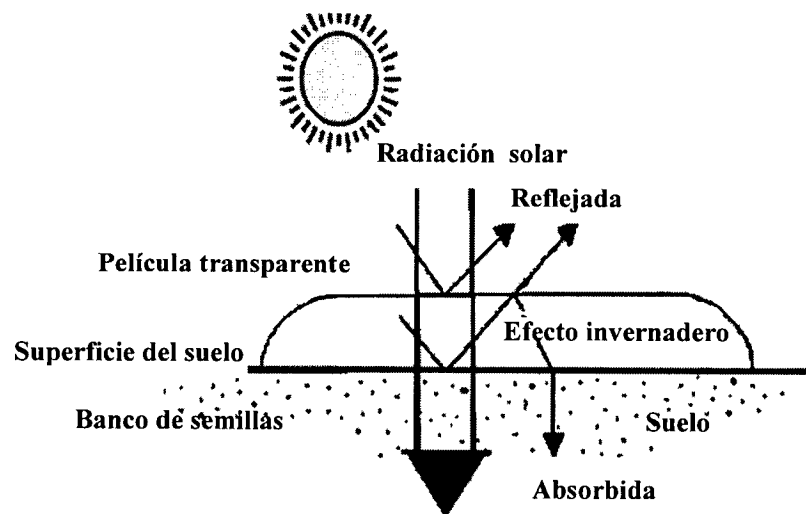


Figura 1. Principios básicos de la solarización de suelos. La radiación solar puede penetrar fácilmente la película de plástico transparente, pero la radiación emitida por el suelo (normalmente a una longitud de onda más larga), no puede pasar a través del acolchado creando en su interior el “efecto invernadero”.

El principal objetivo de ésta técnica biofísica es disminuir el banco de semillas de malezas existente en el suelo, así como reducir o controlar nemátodos, hongos, bacterias e insectos fitopatógenos; lo anterior con la finalidad de evitar o minimizar el efecto adverso de las plagas del suelo, así como incrementar los rendimientos y la calidad de los productos cosechados con un bajo impacto ambiental (González, 2005).

Antecedentes históricos e importancia de la solarización

La solarización del suelo es un método de desinfección relativamente moderno utilizado para controlar patógenos del suelo y malezas. El primer trabajo al respecto lo presentaron el profesor Jaacov Katan y sus colaboradores de la Universidad Hebrea de Rehovot, Israel en el año de 1976. Los beneficios de la solarización han sido ampliamente demostrados no solamente en climas cálidos y áridos sino también en regiones templadas y de alta humedad (Iglesias, 2005).

Muchos organismos causantes de enfermedades son controlados hasta una profundidad de 45 cm. Resultados de investigaciones sugieren que la reinfeksi3n por algunos patógenos de un suelo solarizado es menor que en suelos tratados mediante otras técnicas. Un beneficio importante y adicional se refiere al efecto posterior, o sea, el tiempo que transcurre después de haber solarizado sin que una enfermedad se manifieste, puede durar hasta dos ciclos de cultivo (Lundsted, 2006).

La profundidad del suelo hasta donde se puede tener control satisfactorio, depende fundamentalmente de la duración del tratamiento, de la intensidad de la radiación solar y de la conductividad térmica del suelo. En comparación a otros métodos de desinfección del suelo, la solarización tiene la ventaja de no mostrar efectos colaterales de fitotoxicidad por liberación de ciertas sustancias tóxicas, así como tampoco permite la rápida reinfestación del suelo debido a la creación del vacío biológico que ocurre cuando el suelo es esterilizado por el efecto de fumigantes o del calor generado por vapor de agua (Rosado, 2005).

La agricultura intensiva exige a menudo la repetición de un mismo cultivo, lo cual selecciona las plagas y enfermedades del suelo que mejor se adaptan a las plantas cultivadas y aparecen las enfermedades y la fatiga del suelo, sin olvidar el problema de las malas hierbas (Cebolla, 2005). De acuerdo con Eshel (2000) algunos de los efectos que se generan con la solarización son: (1) incrementos en las temperaturas; (2) cambios en la microflora a favor de los antagonistas; (3) retención de altos niveles de humedad; (4) transformaciones químicas y físicas; (5) recomposición gaseosa de la atmósfera del suelo.

El uso de la energía solar como medio de control no contaminante es la única arma disponible para la recuperación de suelos agotados (antropomorfismo) que prescinde de contaminantes químicos, o reduce los niveles de residuos cuando se usa combinado con tratamientos químicos. La sociedad en la que vivimos camina hacia mayores niveles de bienestar que incluyen cada vez más exigencias sanitarias, y mayores restricciones en contenidos de residuos tóxicos. La solarización puede ser la técnica adecuada para aproximarnos a un nivel de agricultura biológica y sustentable, si no se cometen errores en el proceso de transferencia de esta tecnología. Lo que se busca no es un control absoluto de las enfermedades, sino más bien una reducción económica del nivel de enfermedad, mediante la explotación de los recursos biológicos y físicos naturales. Por lo tanto, la solarización es una opción para considerarse seriamente en los planes de manejo integrado de plagas (Rosado, 2005).

La solarización como alternativa al bromuro de metilo y otras opciones no químicas y químicas

El BM ha sido el producto químico que tradicionalmente ha sido ampliamente utilizado comercialmente para la desinfección de suelos en la agricultura intensiva debido a sus propiedades como gas fumigante de alta eficacia y rápida actuación en el control de enfermedades de origen edáfico y otras, mostrando un amplio espectro de efectividad frente a los patógenos (Bello, 2004). Sin embargo, el BM no se retiene en su totalidad en el suelo, sino que entre el 50 al 95 % pasa en forma de emisiones gaseosas a la estratosfera, donde se liberan átomos de bromo que reaccionan con el ozono y otras moléculas estables que contienen cloro, dando lugar a una reacción en cadena que contribuye a la disminución de la capa de ozono (Figura 2), incrementando la emisión de los rayos ultravioleta.

Además, una de las principales desventajas de este producto radica en su muy alta toxicidad, reduciendo la biodiversidad del suelo y provocando problemas de fitotoxicidad y contaminación ambiental (Johnson y Mullinx, 2007).

En los acuerdos resultantes del Protocolo de Montreal de 1997, se determinó la retirada del BM antes del año 2005 en los países desarrollados y para el 2015 en el resto del mundo, quedando su uso limitado a pequeñas cantidades dedicadas a usos críticos. Por esta razón, se ha intensificado la búsqueda de nuevas alternativas al BM que no afecten adversamente el ambiente. Algunas de estas alternativas incluyen la combinación de técnicas como la rotación de cultivos, enmiendas orgánicas y la solarización (González, 2005).

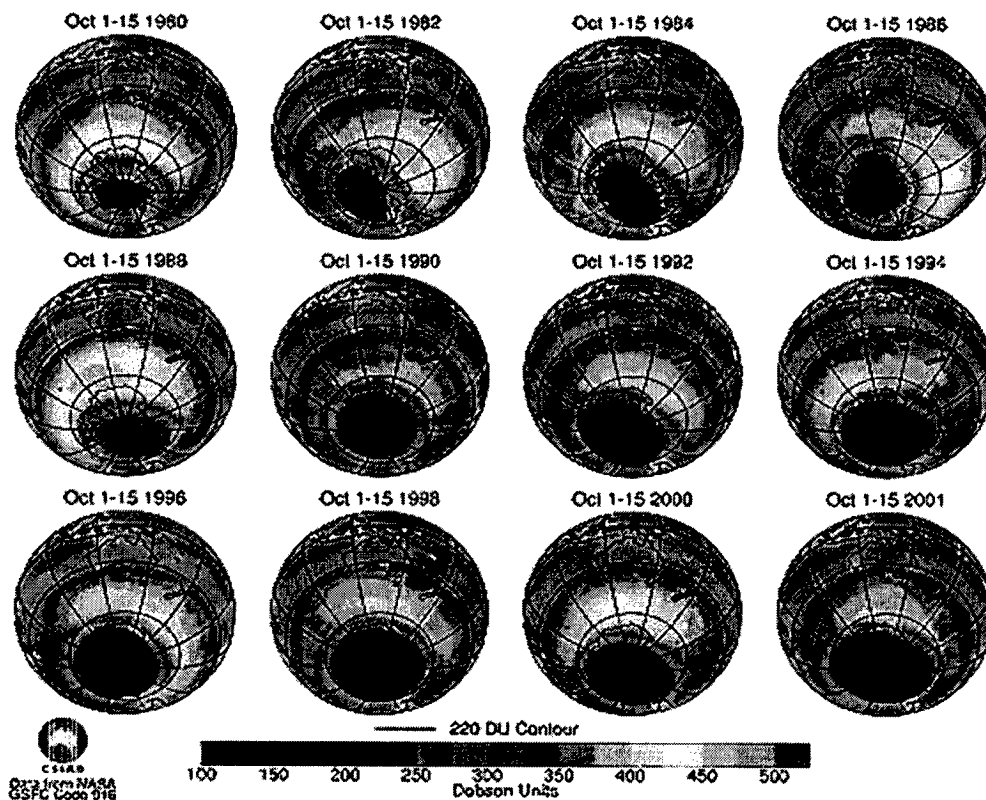


Figura 2. La destrucción de la capa de ozono ocurre tanto en el hemisferio norte como en el sur, sin embargo es en la Antártica donde se ha encontrado un mayor daño, formando el “agujero en la capa de ozono”. Este “agujero” alcanzó los 25 millones de km² a fines de 1998, una superficie equivalente a la que existe en los países de Canadá, Estados Unidos, México y Centroamérica. http://it.geocities.com/allfonsit/ozone/ozone_hole.jpg

La pasteurización o esterilización del suelo con vapor es un proceso comercial ampliamente utilizado en muchas regiones del mundo mediante el cual las plagas, enfermedades y malezas presentes en el suelo, son eliminadas con calor. La esterilización con vapor de agua caliente aplicada través del suelo o sustrato con la ayuda de una caldera y tuberías permite eliminar organismos nocivos sin problemas de contaminación. El suelo debe cubrirse con una película de plástico para mantener el vapor, esta técnica es probablemente la mejor alternativa al bromuro de metilo, con resultados igualmente eficientes, aunque también ocasiona la muerte de microfauna benéfica. Calentar el suelo a profundidades superiores a 30 cm exige utilizar la caldera durante muchísimo tiempo, con la consecuente necesidad de mano de obra y mayores cantidades de combustible que rápidamente tornan esta alternativa económicamente inaceptable.

El vapor de agua a temperaturas de 100°C o mas, al igual que cualquier fumigante de suelo de amplio espectro es un biocida que elimina todos los microorganismos presentes en el mismo, dejando espacio para que los patógenos ya sea reintroducidos o que han quedado viables se reproduzcan y diseminen sin competencia, por lo tanto, tiene mejores efectos cuando se añaden microorganismos benéficos y/o materia orgánica al suelo inmediatamente después de realizar el tratamiento (Pizano, 2001).

Frente a la prohibición del BM en los próximos años, la solarización ha sido identificada como una posibilidad de desinfección de suelo no química (Cebolla, 2005). La desinfección de suelos con la solarización es una técnica necesaria para mantener un nivel de producción adecuado, al evitar los efectos negativos que ocasionan los patógenos (insectos, nemátodos, hongos, malas hierbas y bacterias) que aparecen en el suelo como consecuencia de la repetición de un mismo cultivo o grupo de cultivos sobre la misma parcela (Gamliel 2000). Entre las alternativas no químicas se incluyen los métodos para tratar el suelo o sustratos sin el uso de pesticidas para eliminar las malas hierbas y plagas (Benlioglu *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista comercial la solarización es compatible con otros métodos biológicos para el control de enfermedades causadas por patógenos del suelo. En un estudio realizado por Stevens *et al.* (2003), se determinó que al incorporar *Trichoderma*

virens al suelo luego de remover el plástico hubo una reducción en la incidencia de *Sclerotium rolfsii* en tomate. Con la incorporación de rizobacterias en este mismo cultivo, así como en pimiento, se redujo la formación de colonias de *Fusarium* y *Pythium* durante la solarización; por lo tanto en Florida, USA Kokalis-Burell (2002) lo han estado validando en parcelas comerciales de diversos cultivos hotícolas. Las técnicas de control biológico con la utilización de hongos antagonistas como *Trichoderma* spp., *Gliocadium* spp. y/o bacterias (*Basillus* spp., *Pseudomonas* spp., etc.), así como prácticas culturales (barbechos), empleo de material de plantación sano, variedades resistentes, injertos y solarización, o con la combinación de estas técnicas, se obtiene un manejo integrado para el control comercial de plagas y enfermedades de los cultivos (Ioannou, 2001).

Dentro de las prácticas culturales consideradas a nivel comercial empleando materia orgánica mas la solarización, se encuentra la biofumigación; técnica que ha demostrado con productores comerciales que aumenta la eficacia en el manejo de los patógenos ofreciendo soluciones prometedoros y sustentables en regiones de alta radiación solar como el medio oriente (Israel, Jordania y Arabia Saudita) así como en los Valles de San Joaquín, Sacramento, Imperial y Cochella en California, USA. (Stapleton, 2000). La biofumigación y solarización pueden ser consideradas como técnicas alternativas al uso del BM en el control de agentes fitopatógenos (Ozores, 2005). La biofumigación utiliza los gases y otros productos resultantes de la biodegradación de la materia orgánica y residuos agroindustriales. La efectividad de la biofumigación comercial en España es similar a la de otros pesticidas convencionales, pero al mismo tiempo mejora las características del suelo como de la planta (Bello *et al.*, 2003).

El costo de la biofumigación resulta económico cuando se emplean estiércoles animales, abonos verdes o mucho más cuando se utilizan los propios restos de cultivo. Se ha definido la biofumigación como la acción de las sustancias volátiles que se producen en la biodescomposición de la materia orgánica, para el control de los organismos patógenos, mejorando las características físicas, químicas y biológicas del suelo, manteniendo su eficacia en el tiempo a través de sistemas de producción integrada. Se diferencia de la solarización por no necesitar temperatura alta, pudiéndose aplicar también en cultivos extensivos y en climas templados. Se considera que el efecto biocida no es exclusivo de los

Cuadro 17. Susceptibilidad de diferentes especies de malezas a solarización del suelo.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de propagación	Susceptibilidad
Zacate pitillo	<i>Ixophorus unisetus</i>	Perene	***
Zacate grama	<i>Cynodon dactylon</i> (semilla)	Perene	**
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	Anual de verano	**
Coquillo	<i>Cyperus spp.</i>	Perene	*
Quelite	<i>Amaranthus spinosus</i>	Anual de verano	***
Zacate pinto	<i>Echinochloa colonum</i>	Anual	***
Zacate panizo	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Anual	***
Quelite	<i>Amaranthus palmeri</i>	Anual de verano	**
Quelite	<i>Amatanthus albus</i>	Anual de verano	***
Quelite	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Anual	***
	<i>Abutilon theophrasti</i>		**
	<i>Avena fatua</i>	Anual	**
	<i>Amsinckia douglasiana</i>		**
	<i>Brassica nigra</i>	anual de invierno	***
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>		***
Quelite cenizo	<i>Chenopodium album</i>	Anual de verano	***
	<i>Claytonia perfoliata</i>		
Enredadera	<i>Convolvulus arvensis</i> (semilla)	Perene	**
Cola de caballo	<i>Conyza canadiensis</i>	Anual de verano	***
	<i>Digitaria sanguinalis</i>		**
Zacate pata de gallo	<i>Eleusine indica</i>	Anual de verano	**
	<i>Lamium amplexicaule</i>		
Quesitos	<i>Malva parviflora</i>	Anual de verano	**
	<i>Orobanche ramosa</i>		
	<i>Oxalis pes-caprae</i>	Perene de verano	**
Pasto azul	<i>Poa annua</i>	Anual de verano	**
	<i>Senecio vulgaris</i>		
	<i>Sida spinosa</i>		
Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>	Anual de verano	***
	<i>Solanum sarrachoides</i>		
	<i>Sonchus oleraceus</i>		
Zacate Johnson	<i>Sorghum halepense</i> (semilla)	Perene	**
	<i>Stellaria media</i>		
	<i>Trianthema portulacastrum</i>		
Abrojo; cadillo	<i>Xanthium strumarium</i>	Anual de verano	**
Cualilla	<i>Argytmia neomexicana</i>		***
Zacate cola de zorra	<i>Leptochloa filiformis</i>		*
Golondrina rastrera	<i>Euphorbia prostata</i>		***
Cuacha	<i>Kallstroemia máxima</i>		***
Hierba de arlomo	<i>Boerhaavia erecta</i>		***
Golondrina erecta	<i>Phyllanthus caroliniensis</i>		***
Golondrina semi-erecta	<i>Euphorbia hirta</i>		***

* Baja, ** Media, ***Alta (Munro, 1987; Elmore *et al.*, 1997).

El período de manejo más crítico es durante el desarrollo inicial de las plantas, en ese período es necesario mantenerlas completamente libres de malezas para evitar reducciones en biomasa; en el crecimiento y altura (Arnoldi *et al.*, 2000). Una práctica poco estudiada es la solarización con polietileno negro, que impide la emergencia de la mayoría de las especies al proveer una barrera física opaca que reduce significativamente el paso de la radiación solar; esto permite generar temperaturas altas que disminuyen la germinación y brotación de plantas de malezas (Girefe *et al.*, 2005). Por lo tanto, el uso de polietileno negro usado comúnmente como acolchado ayuda a controlar pasivamente la vegetación y de esta manera reduce la necesidad del empleo de otros métodos, además, conserva la humedad del suelo y mejora la infiltración del agua de riego (Haywood, 2000).

Arnoldi *et al.* (2003) realizaron experimentos para determinar el control y la dinámica de las malezas anuales y perennes a través de la solarización y el uso de herbicidas en viveros de duraznos y cítricos. La altura de las plantas en el año 2000 fue mayor en el suelo solarizado y en el suelo tratado con herbicida comparado con el testigo. En el año 2001 sólo el suelo solarizado difirió significativamente del testigo (Cuadro 18). El diámetro del tronco de las plantas en el suelo solarizado fue siempre superior al testigo. La mayor altura y diámetro en el suelo solarizado se puede explicar por la ausencia de competencia con las malezas en este tratamiento. En el suelo solarizado se alcanzó una mayor temperatura, lo que permitió un mayor crecimiento de los frutales. La presencia de polietileno en la solarización redujo la cobertura de malezas con respecto al herbicida (terbacil) y permitió mejorar el crecimiento de ambas especies frutales. Así, el control físico redujo el uso de herbicidas residuales.

Cuadro 18. Altura (cm) de las plantas de duraznos y naranjos.

Tratamiento	Duraznos		Naranjos	
	16-03-00	23-03-01	16-03-00	23-03-01
Testigo enmalezado	135.42 b	148.65 b	22.77 c	65.87 c
Herbicida	147.60 a	157.47 b	34.37 b	92.40 b
Suelo solarizado	150.03 a	178.09 a	37.99 a	103.50 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de DMS (P=0.05) (Arnoldi *et al.*, 2003).

Amaranthus retroflexus L. se considera una de las malezas anuales más comunes de muchos cultivos hortícolas. Verdú y Mas (2002) realizaron estudios sobre los efectos termales de los tratamientos en las semillas de *A. retroflexus* simulando picos de calor producidos por la solarización. Las semillas se expusieron durante una a diez horas a 55 y 60 °C y después se incubaron por treinta días. Las semillas secas fueron sometidas a 35 °C y 120 °C durante una hora. Los tratamientos secos de una hora resultaron inefectivos en la prevención de la germinación de hasta 115 °C. Al exceder el umbral de 55 °C por cuatro horas y de 60 °C por dos horas, el porcentaje final de la germinación disminuyó y el período de exposición en horas fue necesario para el incremento de la germinación de las semillas. El porcentaje final de la germinación en las semillas no tratadas fue de 96 y 99 %.

Esto demuestra que las condiciones de incubación resultaron aceptables. No hubo significancia en la reducción de la germinación cuando las semillas se trataron en condiciones secas a 105 y 55 °C por tres horas, y a 60 °C por una hora bajo condiciones húmedas. El porcentaje de germinación fue significativamente más bajo cuando las semillas fueron tratadas a 55 °C durante cuatro a siete horas. La germinación prácticamente fue detenida en los tratamientos de ocho a diez horas a 55 °C (Verdú y Mas, 2002).

Entre los desafíos de la producción orgánica de hortalizas el control de malezas es un tema de importancia, debido a la prohibición del uso de herbicidas. Entre las plantas invasoras *Cyperus rotundus* L. es una maleza de muy difícil control y compite mucho con los cultivos. En Brasil se realizó un estudio en el cultivo de la zanahoria para evaluar la influencia de la preparación y el mezclado del suelo en la eficacia de la solarización en el control de *C. rotundus*. El inicio de la solarización fue el 29 de enero del 2002, con una duración de 100 días; la solarización redujo en 86 % la infestación del *C. rotundus*; la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad fue superior en los suelos solarizados, no obstante a los 5 cm la solarización fue más eficiente cuando se realizó la preparación del terreno, no teniendo efecto del mezclado. El desarrollo de la zanahoria fue influenciado por la solarización, lo cual se reflejó en mayor productividad (Freire-Ricci *et al.*, 2006).

fenómenos de anaerobiosis, puesto que también actúa sobre hongos y semillas. El futuro de la biofumigación está en el comportamiento de los gases y su dinámica, para optimizar su eficacia en el control de los organismos patógenos (Bello *et al.*, 2001).

Algunas de las barreras potenciales que tienen la solarización así como la biofumigación de suelos, es la falta de mayores acciones de validación y transferencia de estas tecnologías con productores o asociaciones de agricultores, que puedan constatar de manera directa los beneficios de estos métodos biofísicos de prevención y control de microorganismos fitopatógenos que afectan negativamente el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Otro factor que pudiera estar limitando esta tecnología en países en vías de desarrollo es la falta de resultados investigación que sean dados a conocer mediante folletos divulgativos o con eventos demostrativos con agricultores en los cuales se pueden mostrar *in situ* los beneficios de estas tecnologías. Por último, debido a que las películas de PE empleadas para solarizar y biofumigar no son bio o fotobiodegradables, por lo que esto representa un problema para muchos agricultores ya que no se pueden deshacer fácilmente del plástico. En países desarrollados como USA y muchos de la Unión Europea, existen programas de reciclado de plástico, por lo que este problema potencial no existe en esas regiones agrícolas con alta tecnología.

Los problemas que se presentan desde el punto de vista de transferencia de esta tecnología son: el precio del plástico, la duración del tratamiento el cual requiere de un tiempo largo para que sea eficaz (1 o 2 meses), es difícil adaptarla a una rotación de cultivos, necesita llevarse a cabo durante el verano, las películas plásticas se rasgan por un mal manejo, lluvias, viento y animales, al principio hay poco entusiasmo de la gente y la dificultad de recoger los restos del plástico (Cebolla, 2005).

En Chipre se evaluó el efecto de la solarización del suelo y el injerto del tomate, para el control de patógenos presentes en el suelo en el cultivo de la berenjena. La solarización del suelo fue altamente eficaz contra *Verticillium dahliae* y parcialmente eficaz contra la pudrición de la raíz *Pyrenochaeta lycopersici*. El injerto proporcionó protección total contra *Pyrenochaeta lycopersici* y parcialmente contra *V. dahliae*. La

solarización del suelo y el uso de rizomas resistentes son también buenos métodos de control eficaz para patógenos y parásitos presentes en el suelo (Ioannou, 2001).

Entre las alternativas químicas algunas de sus combinaciones se han mostrado efectivas, pero el perfil toxicológico debe tomarse en cuenta ya que su potencial de toxicidad puede resultar una restricción importante a la hora de sustituir al BM. Según Stapleton (2000) el uso de Cloropicrina, 1,3 Dicloropropeno, Etileno dibromide (EDB), metam sodio y Dazonet, así como sus combinaciones serían algunas alternativas químicas, pero el uso de Cloropicrina ya cuenta con prohibición en algunos países. La utilización de este producto en combinación con el Telone, considerado como un buen fungicida y nematicida, plantea medidas restrictivas por ser sospechosa de cancerígena; así como el Metam sodio y Dazonet, con menor acción fumigante que el BM pero que actúan como contaminantes. Toda desinfección de suelo, tanto física como química, debe estar recomendada y supervisada por un técnico competente (Villasana, 2006).

Tecnología utilizada en la solarización del suelo

Tipo de plástico y colocación

El plástico transparente es más eficiente que el negro, porque permite que penetre un mayor espectro de energía luminosa, se recomienda que la película plástica sea de 20 a 50 μ , con características especiales como por ejemplo: películas de 50 μ estabilizado, 50 μ no estabilizado, 50 μ cristal, 23 μ negro (Campelo, 2006, Colombo, 2006). Los plásticos usados para la solarización son generalmente películas de polietileno (PE) por su bajo costo; fuerza tensil y resistencia al rasgado.

La durabilidad de películas plásticas se puede controlar adicionando sustancias que aumenten el índice de procesos degradantes (Espí *et al.*, 2006). La degradación de la película se ha considerado como alternativa a los procedimientos incómodos y costosos del retiro y de la disposición tradicionalmente usados para los acolchados con plástico (Hasing, 2002). El acolchado de suelos usando polímeros degradables en aerosol ofrece una alternativa factible y rentable. El polímero se aplica rociando en forma de una película

membranosa, mantiene su integridad y eleva la temperatura del suelo. Sin embargo, la membrana es porosa y permite la entrada del agua. Gamliel *et al.* (2000) desarrollaron una tecnología económica de una formulación de polímero negro que incrementa las temperaturas del suelo y conserva la humedad, durante este proceso de solarización puede reducir perceptiblemente las poblaciones de los hongos fitopatógenos del suelo.

Las películas plásticas ligeras (PPLs) son hoy en día ampliamente utilizadas especialmente en cultivos vegetales en campo y bajo invernadero, debido a que pueden incrementar las temperaturas del suelo más de 20 °C sobre la temperatura del aire. El tratamiento de la solarización con PPLs es caracterizado por un bajo costo (Scopa *et al.*, 2007). Otro tipo de películas que se utilizan para la solarización son las virtualmente impermeables (VI) en un estudio que se realizó utilizando este tipo de material durante la solarización mas la aplicación de productos químicos se logró mayor retención del producto en el suelo. El uso de plástico virtualmente impermeables (VIF) permite reducciones del uso de Bromuro de Metilo de hasta el 80 %. Se espera que los especialistas de investigación encuentren, plásticos que pueden reducir el tiempo de solarización.

La supervivencia de *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* declinó perceptiblemente cuando se combinó la solarización y la película VI comparado con la utilización de otra película de polietileno de baja densidad (Chellemi y Mirusso, 2006). Así como también se ha desarrollado películas de PE absorbente de radiación infrarroja (TIR) diseñadas para mejorar la conservación del calor para incrementar las temperaturas durante la solarización del suelo bajo condiciones ambientales húmedas, en un estudio realizado la película fue constantemente más eficaz en el incremento de la temperatura del suelo comparado con una doble película transparente de polietileno de baja densidad de 30 μ . En días nublados con presencia de una ligera precipitación, las temperaturas debajo de la película de TIR excedieron los 45 °C a una profundidad de 5 cm. La exposición acumulativa de las temperaturas a ≥ 45 y 50 °C fue mayor con la película de TIR que con otra película, indicando que tiene un mayor potencial para la solarización del suelo en climas húmedos (Chase *et al.*, 1999). La solarización con doble capa (por ejemplo bajo invernadero o túnel) alcanza mayores temperaturas y mejora la eficacia (Cebolla, 2005).

Resultados de dos campos de cultivo donde se utilizaron las siguientes películas plásticas: LDPE con estabilizador de luz UV, LDPE con la mitad del estabilizador UV, LDPE sin el aditivo y el testigo, no mostraron diferencia significativa en la temperatura del suelo registrada a una profundidad de 10 cm, la temperatura en todos los tratamientos fue de 44 y 41 °C en suelos solarizados y de 33.9 y de 30.2 °C en el testigo. Una gran reducción de infestación de mala hierba se observó en los suelos solarizados de los dos experimentos, para todas las películas plásticas. La viabilidad del *P. aphanidermatum* se redujo en todos los tratamientos. La película plástica sin el aditivo se rasgó en el extremo durante los ensayos prácticos, después de 60 y 90 días de exposición al ambiente; el cual se consideró inadecuado para utilizarla durante la solarización (Barros *et al.*, 2004).

La aplicación de las películas plásticas para la solarización del suelo requiere de un procedimiento y equipo especial, puede colocarse mecánicamente (Figura 3A), o de manera manual (Figura 3B) según las características de la parcela, pero en todo caso debe garantizarse su tensado y un buen cierre de los bordes enterrados para evitar la entrada de aire que reducirían la eficacia por la evaporación, las pérdidas térmicas y cambios en la composición atmosférica del suelo (Campelo, 2006).

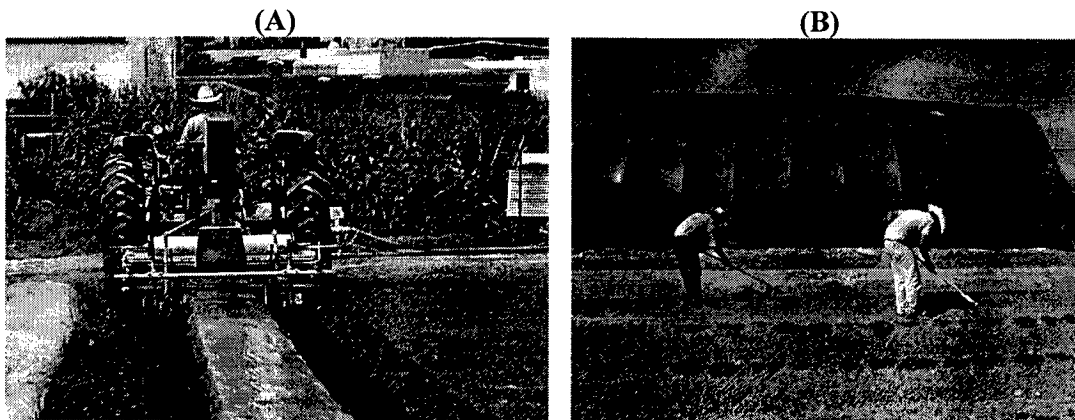


Figura 3. Colocación de la película de polietileno transparente para solarizar en campo abierto las camas de siembra con acolchadora mecánica (A) y de forma manual (B).

El suelo se debe de cubrir de manera continua abarcando la mayor cantidad de superficie (Figura 4 A), la presencia de pasillos no solo deja desprotegida la zona no cubierta sino que por un efecto descrito como efecto borde, la zona periférica del plástico alcanza temperaturas inferiores, que dan como resultado un menor control y por lo tanto, la presencia de focos de recolonización (Skutelski *et al.*, 2000). En condiciones de invernadero o campo el acolchado del suelo con PE transparente puede ser de forma parcial (Figura 4 B) cubriendo solo la cama de siembra. En un estudio realizado por Ioannou *et al.* (2000) señalan que la solarización con doble cubierta de polietileno comparado con una sola cubierta, o películas de 1 y 2 m de ancho, mejoraron levemente el nivel de marchites debido al hongo *Fusarium* sp.



Figura 4. Ilustraciones del tipo de acolchado total (A) y parcial de suelo (B) en condiciones de invernadero para realizar la solarización en ambientes cerrados.

Los plásticos transparentes muestran el mayor porcentaje de transmitancia en el espectro visible y en el infrarrojo corto de la radiación solar que son las longitudes de onda que más contribuyen al calentamiento de los suelos. Los plásticos oscuros tienden a absorber un gran porcentaje de la radiación y debido a esto el suelo se calienta menos y el material plástico se calienta más. Los plásticos claros, metálicos o brillantes reflejan la radiación y evitan que llegue al suelo, por lo que estos son los que menos proporcionan calor al suelo (Misle y Norero 2001).

Época y duración de la solarización

La época adecuada para solarizar es el verano por la coincidencia de la radiación solar alta, días más largos, mayor insolación, mayor temperatura y menos viento. La duración depende del tiempo en que el terreno quede libre del cultivo; el plástico se deja por un espacio de tiempo variable desde 30 a 90 días, pasado el periodo indicado, el suelo se descubre y se procede a la siembra o plantación, cuanto mas larga sea la exposición al tratamiento hay mayor eficacia letal sobre patógenos y malas hierbas (Martínez, 2002; INTA, 2005). A pesar que la solarización del suelo es una técnica viable en el verano para el control de los parásitos del suelo, en períodos con cielo nublados y alta precipitación se limita notablemente el calentamiento del suelo (Chase *et al.*, 1999).

Recomendaciones para mejorar la efectividad de la solarización

Microtopografía y humedad del suelo: Para incrementar el efecto de la solarización la superficie del suelo debe ser uniforme, libre de malezas, bien nivelado y lo más mullido posible, de modo que quede una mínima cantidad de aire que actúe como aislante (Cebolla, 2005). Es importante que el suelo tenga suficiente humedad para favorecer la transferencia de calor hacia las capas más profundas del perfil del suelo y hacer que las estructuras reproductivas de las plagas, los hongos y las malezas sean más sensitivas al daño del calor. La absorción de la radiación solar varía de acuerdo con la coloración, textura y estructura del suelo. En igualdad de condiciones, un patógeno es más afectado en un suelo arcilloso que en uno arenoso (Rosado, 2005). Debe darse un solo riego hasta que la humedad alcance por lo menos 60 cm de profundidad y el suelo un 70 % de su capacidad de campo, ya que los riegos adicionales sucesivos no suponen ventajas sino más bien inconvenientes, como puede ser el enfriamiento del suelo y un costo mayor del tratamiento (INTA, 2005). El agua se puede aplicar por el sistema disponible en la parcela, ya sea aspersión, inundación o riego localizado. Las temperaturas más altas en suelos irrigados dan lugar a la eliminación más rápida de patógenos como *Fusarium oxysporum* sp. *lycopersici* (Al-Karaghoulí y Al-Kayssi, 2001)

Temperatura del suelo: La temperatura del suelo constituye la principal variable de este proceso, si se mantiene alta durante un mayor tiempo, puede matar las estructuras reproductivas de las plagas, enfermedades y malezas dado que el efecto desinfectante por

calor depende del incremento de la temperatura alcanzada en el suelo, y del tiempo de exposición (Bárberi, 2001). La relación entre la temperatura, el tiempo y el flujo de calor resulta afectada por el contenido de agua en el suelo así como la cantidad de radiación solar en el rango infrarrojo del espectro solar (Figura 5).

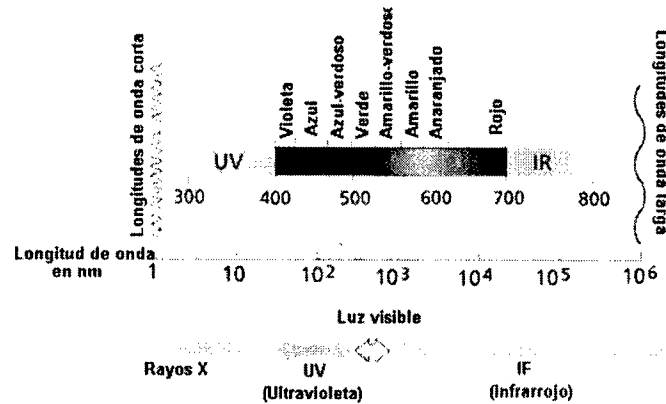


Figura 5. Longitud de onda de la radiación solar en el rango completo de la radiación ultravioleta a la infrarroja que es la que induce el calentamiento requerido para la técnica de solarización de suelos. <http://www.escuelas.edu.ar/2002/radiacion/images/espectro.jpg>

Durante la solarización, el suelo se cubre con el plástico que reduce pérdidas de calor sin interferir con la absorción de la energía solar, dando por resultado incrementos de la temperatura del suelo (Hasing, 2002). La solarización del suelo se logra manipulando el balance energético del suelo. Este balance depende de la dirección y de la magnitud del intercambio de calor neto entre el suelo y la atmósfera. Mientras el suelo se expone a la radiación solar, acumula calor a través del día. Bajo circunstancias normales esta energía es emitida por procesos radiativos y convectivos. Las temperaturas del suelo se mantienen dentro de una gama determinada por condiciones locales tales como características del clima y del suelo.

Bacterias y hongos benéficos que sobreviven la solarización

La solarización de suelos es un método para reducir las poblaciones de los patógenos de las plantas sin el uso de pesticidas. Sin embargo, la destrucción de organismos beneficiosos tales como hongos micorrizos también puede ocurrir, de tal modo reduciendo los efectos de la solarización (Schreiner, *et al.*, 2001).

Una gran mayoría de microorganismos benéficos son termófilos organismos que crecen a temperaturas mayores de 45 °C y menores de 70°C, el crecimiento óptimo es de 55-65°C; estos organismos poseen una membrana con alto porcentaje de ácidos grasos saturados y enzimas estables al calor, por ejemplo las del género *Bacillus* spp y (http://www.higiene.edu.uy/biolcel/metabolismo_fisiologia.ppt#297,29).

Las bacterias del género *Bacillus* spp. son microorganismos que persisten a condiciones desfavorables por la formación de endosporas, las cuales son resistentes a altas temperaturas. Estas bacterias han sido evaluadas en una gran variedad de especies de plantas por su habilidad para controlar enfermedades y como promotoras de crecimiento de plantas. Varias especies de *Bacillus* como lo son *B. megaterium*, *B. subtilis* y *B. cereus* han demostrado efecto inhibitor al ser supresores de hongos patógenos o poblaciones bacterianas del suelo (Ferreira *et al.*, 2003). *Bacillus thuringiensis* tiene efecto antibiótico en organismos patogénicos como *Micrococcus luteus*, *M. aurantiacus*, *Erwinia caratovora* y *Streptomyces chysommallus*. La bacteria *B. thuringiensis* produce una toxina termoestable que puede ser tóxica a poblaciones de nemátodos de ciertas especies como *Meloidogyne* spp., *Panagrellus* spp. y *Aphelenchus* spp., y evita o previene que las larvas de estos nematodos formen nódulos en las raíces de tomate. McGovern y McSorley (2000) reportaron un aumento en las poblaciones de *Bacillus*, indicando que estos proliferan en suelos solarizados al igual que otros organismos termotolerantes.

Las bacterias que colonizan las raíces de las plantas y promueven su crecimiento positivamente por cualquier mecanismo son llamadas “rizobacterias promotoras de crecimiento” (PGPR). Khalid *et al.* (2004), encontraron que algunas cepas de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas producen hormonas como las auxinas, este tipo de hormonas mejora el sistema radicular, resultando en una producción mayor de biomasa. Frecuentemente, los suelos solarizados se vuelven supresivos a patógenos, mientras las *Pseudomonas fluorescens* se incrementan colonizando la rizósfera y las raíces (Khalid *et al.*, 2004). Cepas específicas de *Pseudomonas* actúan de dos formas promoviendo el crecimiento de la plantas. Estas son: de forma directa por la supresión de patógenos y de forma indirecta a través de la secreción de fitohormonas y vitaminas, o por el incremento de la absorción de minerales por la planta (Sharman *et al.*, 2003).

Vessey (2003) encontró que la solarización del suelo aumentó las poblaciones de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas. Los resultados que obtuvo a los 60 días del segundo ciclo, indicaron un aumento en las poblaciones bacterianas benéficas. La solarización promovió diversos grupos de rizobacterias que componen las bacterias promotoras del crecimiento de la planta como *Pseudomonas* spp., las cuales pueden actuar como biofertilizantes al ayudar a la planta de forma directa en la adquisición de nutrientes, o de forma indirecta a través de relaciones simbióticas. Se ha demostrado que las rizobacterias PGPR incrementan el crecimiento vegetal y protegen a la raíz con una variedad de mecanismos de patógenos invasores; incluyendo la producción de antibióticos, como cianuro de hidrógeno e inducen sistemas de resistencia (Kokalis-Burell, 2002).

González-Vázquez (2005) durante el mes agosto realizó un estudio en la universidad de Puerto Rico donde se alcanzaron las temperaturas máximas en el tratamiento de solarización con 53.27 °C y en el tratamiento control con 31.75 °C, después de aplicar el tratamiento de solarización a los 120 días del primer ciclo se identificaron los géneros de hongos *Acremonium* spp., *Choanoephora* spp., *Humicola* spp. y *Mortierella* spp., que no habían sido observados en el muestreo preliminar. *Fusarium* spp. fue aislado frecuentemente en otros tratamientos, excepto en el tratamiento solarizado. En este tratamiento el porcentaje de hongos aislados pertenecían al género *Aspergillus* spp., fue de 3.89 % del total de las colonias. Además, se encontraron los siguientes hongos termotolerantes: *Humicola* spp. y *Mortierella* spp. Dentro de los hongos del género *Sphaeropsidales*, el más abundante durante el ciclo fue *Rhizosphaera* spp. con una densidad de 5 % en el tratamiento de solarización. Por lo tanto, las prácticas de solarización han demostrado que cambian la microflora benéfica del suelo, la diversifican y aumentan su nivel poblacional.

Los hongos aislados a los 60 días después del segundo ciclo, en el tratamiento con materia orgánica el mayor número de aislados pertenecían al género de *Cunninghamella* *elegans* con 14 aislados lo cual representó un 7.8 % del total de 180 aislados. *Aspergillus* spp. fue el mayor representante en el tratamiento de solarización con un 5 % de los aislados, no se encontró el genero *Fusarium* spp. en el tratamiento de solarización (Cuadro1).

Cuadro 1. Diversidad de hongos aislados después de solarizar durante 60 días en diferentes tratamientos, materia orgánica, solarización, control químico y en el testigo.

Clasificación de especies de hongos aislados	Materia orgánica	Solarización	Control químico	Testigo
<i>Acremonium roseum</i>	0 (0) ²	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Aspergillus flavus</i>	0 (0)	7 (3.9)	0 (0)	0 (0)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Aspergillus niger</i>	0 (0)	0 (0)	1 (0.6)	0 (0)
<i>Aspergillus terreus</i>	0 (0)	2 (1.1)	4 (2.2)	4 (2.2)
<i>Aspergillus</i> spp.	0 (0)	7 (3.4)	0 (0)	2 (1.1)
<i>Aspergillus</i> spp. total	0 (0)	9 (5.0)	5 (2.8)	6 (3.3)
<i>Bispora</i> spp.	0 (0)	8 (4.4)	0 (0)	0 (0)
<i>Choanoephora</i> spp.	4 (2.2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Cladosporium</i> spp.	0 (0)	1 (0.6)	0 (0)	0 (0)
<i>Cunninghamella elegans</i>	14 (7.8)	1 (0.6)	5 (2.8)	2 (1.1)
<i>Fusarium</i> spp.	1 (0.6)	0 (0)	0 (0)	2 (1.1)
<i>Humicola</i> spp.	1 (0.6)	0 (0)	0 (0)	1 (0.6)
<i>Mucor</i> spp.	0 (0)	0 (0)	2 (1.1)	2 (1.1)
<i>Paecilomyces</i> spp.	0 (0)	1 (0.6)	0 (0)	0 (0)
<i>Penicillium. oxalicum</i>	0 (0)	2 (1.1)	1 (0.6)	0 (0)
<i>Penicillium</i> spp.	2 (1.1)	2 (1.1)	6 (3.3)	7 (3.9)
<i>Penicillium</i> spp. total	2 (1.1)	4 (2.2)	7 (3.9)	7 (3.9)
<i>Phoma</i> spp.	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Trichoderma</i> spp.	2 (1.1)	0 (0)	0 (0)	1 (0.6)
Desconocidos ³	6 (3.3)	6 (3.3)	11 (6.1)	9 (5.0)
Total de aislamientos	180(100)	180(100)	180(100)	180(100)

¹Valores representan el número total de 180 aislados por muestreo. ²Valores entre paréntesis representan el porcentaje. ³Hongos sin la presencia de estructuras reproductivas para su identificación (González-Vázquez, 2005).

Por su parte, *Trichoderma* spp. es un hongo que sobrevive la radiación solar y posee mecanismos de antibiosis, competencia, micoparasitismo e hidrólisis enzimática, los cuales son útiles en actividades de control biológico. Este hongo posee acción enzimática a través de las quitinasas, las cuales degradan quitina, componente presente en los huevos de los nematodos (Sharon *et al.*, 2001). *Trichoderma* spp., parasita el micelio de hongos patógenos como *Rhizoctonia* spp. y *Sclerotium* spp., e inhibe el crecimiento de *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Fusarium* spp. y *Herobasidium* spp., reduciendo las enfermedades causadas por esos patógenos (Han, 2000). Además, *T. harzianum*, es un agente biocontrolador de *Meloidogyne javanica* a través de su actividad proteolítica (Sharon, *et al.*, 2001). Otros hongos termotolerantes son *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp., los cuales intervienen en la bioregulación de poblaciones patógenas a través de la producción de

antibióticos. Cambios en la microflora benéfica de las plantas después de la aplicación de la solarización también pueden mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Pinkerton *et al.*, 2002).

Balance de energía en la superficie del suelo asociada a la solarización

Antes de atravesar la atmósfera la energía que llega a la parte alta de la misma es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda entre 200 y 4000 nm. Se distingue entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. En la superficie de la Tierra la absorbe parte de la radiación solar (Figura 6). De cada 100 unidades del flujo total de radiación solar (o de onda corta) que llega de la atmósfera, 23 unidades son absorbidas por ésta: el O₃ estratosférico y el vapor de agua troposférico absorben 19 unidades, y el agua líquida en las nubes 4 unidades. La superficie de los océanos y los continentes absorben 46 unidades. Las 31 unidades restantes son reflejadas hacia el espacio exterior: las nubes reflejan 17 unidades, la superficie del planeta 6 unidades, y los gases que componen la atmósfera dispersan hacia el espacio exterior 8 unidades. Estas últimas 31 unidades no participan en los procesos e interacciones del sistema climático. La energía absorbida por éste (69 unidades) es convertida en calor, movimiento de la atmósfera y de los océanos (energía cinética), y energía potencial.

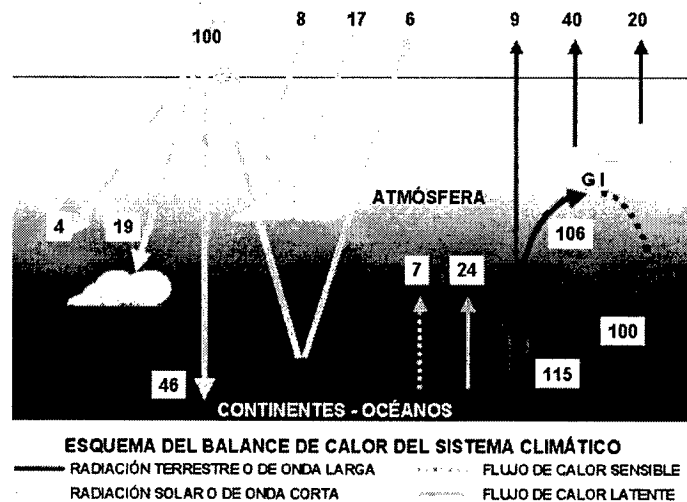


Figura 6. Balance de energía en la tierra en función del valor total de la energía radiante del sol que incide sobre la superficie del planeta (<http://www.monografias.com/Image310.jpg>).

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

En relación con el estado actual del conocimiento sobre la investigación que se ha realizado con solarización, así como los principales tópicos en los que se ha experimentado y que se han obtenido resultados sobresalientes son: control de diversos tipos de hongos y algas fitopatógenas; combinación de BM y otros fumigantes sintéticos para el control de enfermedades en cultivos hortícolas; solarización e incorporación de compuestos biológicos y orgánicos para el manejo de nematodos en invernadero y campo; prevención y control de malezas anuales y perennes; asimismo, la determinación de la mayor disponibilidad de nutrientes del suelo e incremento en rendimiento de los cultivos sometidos a esta práctica de agricultura sustentable. A continuación se desglosarán los principales resultados reportados en la literatura reciente sobre los temas antes señalados.

Control de diversos tipos de hongos y algas del suelo con la solarización

El éxito de la solarización se debe a su efecto sobre los organismos mesofílicos, como la mayoría de los patógenos y plagas de las plantas, que no son capaces de sobrevivir por largos períodos de temperaturas por arriba de los 37 °C. La sensibilidad al calor ocasiona la inestabilidad de las membranas celulares y la inactivación de las enzimas, por lo que se afectan los procesos respiratorios de los microorganismos patógenos (Sharon *et al.*, 2001). La muerte termal de una población de organismos depende del nivel de temperatura y del tiempo de exposición; las cuales están inversamente relacionadas (Vessey *et al.*, 2003). En el comienzo la investigación sobre la solarización de suelos se centró sobre todo en controlar los hongos fitopatógenos del suelo (Cuadro 2), incluyendo un grupo recientemente reclasificado, el de los oomycetos.

La reducción de la incidencia de la enfermedad de los suelos solarizados se produce en los tres componentes bióticos que intervienen: huésped, patógeno y microorganismos que lo rodean. Así como sobre los componentes abióticos del ambiente, tanto físicos como químicos (Martínez *et al.*, 2002).

Cuadro 2. Hongos fitopatógenos que han sido controlados con solarización.

Hongos (nombre científico)	Enfermedad que causan
<i>Didymella lycopersici</i>	Pudrición del tallo por <i>Didymella</i> en tomate
<i>Fusarium oxysporum f. sp. conglutinans</i>	Marchites por <i>Fusarium</i> en cucurbitáceas
<i>F. oxysporum f. sp. fragariae</i>	Marchites por <i>Fusarium</i> en fresa
<i>F. oxysporum f. sp. lycopersici</i>	Marchites por <i>Fusarium</i> en jitomate
<i>F. oxysporum f. sp. vasinfectum</i>	Marchites por <i>Fusarium</i> en algodón
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Hernia de las crucíferas
<i>Phoma terrestris</i>	Raíz rosada en cebolla
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Trizteza del aguacatero
<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	Acorchamiento del cuello y raíz del tomate
<i>Pythium ultimum, Pythium spp.</i>	Ahogamiento o damping off
<i>P. myrothecium</i>	Pudrición de la vaina del cacahuate
<i>Rhizoctonia solani</i>	Costra negra de la papa
<i>Sclerotinia minor</i>	Pudrición de la lechuga
<i>Sclerotium cepivorum</i>	Pudrición blanca de la cebolla
<i>S. rolfsii</i>	Marchites sureña
<i>Verticillium dahlie</i>	Verticilosis en plántula
<i>Botrytis cinerea (en invernadero)</i>	Moho gris

(Elmore *et al.*, 1997).

El debilitamiento de los propágulos es un mecanismo extremadamente importante en el control; a mayor tiempo de exposición de un organismo al calor subletal; los propágulos son menos viables (Steven, 2005). Los mecanismos que intervienen en el control biológico asociado a la solarización son los siguientes: Reducción de la densidad de inóculo por (1) muerte del patógeno al ser debilitado por el efecto térmico subletal, causada por microorganismos; (2) anulación del efecto de fungistasis y lisis del micelio una vez germinado y (3) parasitismo de organismos antagonistas estimulado por la solarización (Martínez *et al.*, 2002).

En un estudio de campo realizado por Paplomatas y Elena (2002) se encontró que después de solarizar durante 69 días hubo una supervivencia menor de *Fusarium proliferatum* a la profundidad de 10 cm en las parcelas solarizadas, ya que solo se

encontraron 3 ufc de este hongo; sin embargo, en el tratamiento testigo la cantidad de ufc fue de 45.4 (Cuadro 3). En los experimentos de tratamiento térmico que ellos realizaron con temperaturas de 35, 40, 45 y 50 °C durante periodos de 10, 20 y 30 minutos, la población de *F. proliferatum* disminuyó significativamente a 50 °C; pero no se encontró ninguna diferencia estadística entre los diversos períodos de exposición térmica, aunque numéricamente si se observaron claras diferencias en la cantidad de ufc encontradas en el suelo entre la temperatura de 35 °C en comparación con 40 y 45 °C (Figura 7).

Cuadro 3. Efecto de la solarización (durante 69 días) sobre la supervivencia de propágulos de *Fusarium proliferatum* en el suelo.

Tratamientos	*ufc/g de suelo
Control	45.00 a
Solarización	3.00 b

*Media de 3 repeticiones (con 8 muestras en cada repetición). Letras diferentes indican que hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) (Paplomatas y Elena, 2002).

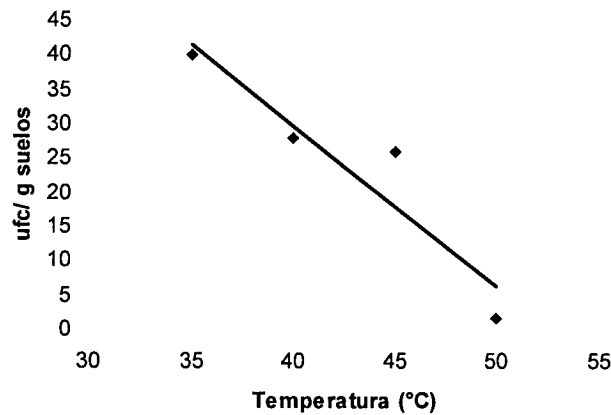


Figura 7. Supervivencia de *Fusarium proliferatum* a diferentes temperaturas.

McGovern *et al.* (2000) evaluaron la eficacia de la solarización del suelo con polietileno de 50 μ m durante el otoño tratando de reducir el daño causado por *Phytophthora*. El acolchado plástico se recogió después de 4 semanas, inmediatamente después se tomaron muestras a 15 cm de profundidad para verificar las densidades del

patógeno. La inactivación termal de *P. nicotianae* se incrementó en función del tiempo de exposición a altas temperaturas, de tal manera que a mayor temperatura menor termoestabilidad, el rango fue de 55 a 60 °C de 2 a 3 minutos; de 45 a 50 °C de 1 a 3 h y de 38 a 40 °C de 70 a 120 h. Las temperaturas del suelo registradas entre las 3:00 y 4:00 PM aumentaron constantemente con la solarización en las tres profundidades (5, 15, y 23 cm).

Las temperaturas máximas que se observaron a 5, 15, y 23 cm debajo del polietileno transparente fueron 41.6, 36.1, y 32.2 °C; mientras que en el suelo desnudo fueron 35.0, 30.2, y 27.8 °C. El promedio de las temperaturas máximas diarias del suelo a 5, 15, y 23 cm en suelos solarizados y no solarizados fue 37.5, 33.7, y 29.9 °C, y 32.4, 28.3, y 27.1 °C, respectivamente. La solarización suprimió substancialmente el desarrollo e incidencia de *P. nicotianae*, la población de propágulos fue de 0.0 ufc/g de suelo en las parcelas solarizadas; mientras que se encontraron 53 ufc/g de suelo dentro de las parcelas no solarizadas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la solarización del suelo en densidades del propágulos *Phytophthora nicotianae*, desarrollo e incidencia final de la enfermedad en *catharanthus roseus* cv. Pink Cooler^w

Año	Tratamiento	^x Propágulos ufc/g de suelo	^y Incidencia (%)
1993	Control	53.0 a	69.5 a
	Solarización	0.0 a	14.8 b
1994	Control	109.2 a	100 a
	Solarización	15.2 a	90.8 a
1995	Control	290.0 a	99.2 a
	solarización	0.0 a	9.0 b

^wDatos medios de tres réplicas. Letras diferentes indican que hubo diferencia significativa por el método de Fisher's (p <0.05). ^xPropágulos de *Phytophthora* spp. ^yIncidencia final del patógeno. (McGovern *et al.*, 2000)

Por otro lado, en el cultivo de la frambuesa se evaluó durante el 26 de julio al 8 de septiembre el efecto de la solarización y la forma de la cama de siembra en la incidencia de la enfermedad causada por *Phytophthora*, el porcentaje de varetas marchitas fue menor en

los suelos solarizados. Los pesos de las varetas y el número de las mismas fueron mayores en camas altas y suelos solarizados, en comparación con los otros tratamientos. Estos resultados sugieren que la solarización es una opción viable en un programa integrado para manejar la pudrición de la raíz del cultivo de la frambuesa (Pinkerton, 2000).

Se ha comprobado que la solarización es efectiva contra varios patógenos del suelo bajo diversas condiciones. La pudrición de la raíz causada por *P. fragariae* en la producción de la fresa y la frambuesa es preocupante en el Pacífico Norte y a nivel mundial, es por ello que se están realizando varios estudios para evaluar la solarización e incrementar el número de plantas sanas así como también disminuir las densidades demográficas de los patógenos que destruyen la raíz. La solarización se llevó a cabo a mediados del mes de julio hasta mediados del mes de septiembre. La temperatura máxima dentro de suelos solarizados a una profundidad de 10 cm fue de 48 a 33 °C en el cultivo de la fresa y de 46 a 29 °C en el cultivo de la frambuesa. Estas temperaturas fueron de 7 a 17 °C arriba de las temperaturas registradas dentro de suelos no solarizados (Cuadro 5). La incidencia en el cultivo de la fresa causada por *P. fragariae*, *Pythium* y *Rhizoctonia* y *Fusarium* (Cuadro 6) se redujo ($P < 0.05$) en el suelo tratado con solarización. En el segundo ciclo de crecimiento de las plantas, el número total y el número de primordios sanos fueron de mayor calidad ($P < 0.05$) dentro de parcelas solarizados comparados con las parcelas no solarizados (Pinkerton *et al.*, 2002).

Cuadro 5. Temperatura del suelo en parcelas solarizadas y no solarizadas^x.

Cultivos	Tratamientos	Profundidad (cm)	^y Temperatura del suelo (°C)		Horas calor (°C)			
			Media	Maxima	>30	>35	>40	>45
Fresa	Solarización	10	33.2	48.1	999	594	237	58
		20	29.6	36.1	794	38	0	0
	Control	10	23.3	31.2	28	4	1	1
		20	21.5	25.9	5	4	0	0
Frambuesa	Solarización	10	29.4	46.1	512	225	91	7
		30	28.1	32.2	221	0	0	0
	Control	10	22.3	31.2	12	0	0	0
		30	23.4	27.8	10	0	0	0

^xEl registro de la temperaturas fue a cada hora utilizando un datalogger. ^yTemperatura diaria que se registró durante una hora determinada. ^zLos termopares se enterraron a la profundidad señalada en cada tratamiento (Pinkerton *et al.*, 2002).

- ◆ Aplicar pintura blanca o plateada después del periodo de solarización para así utilizar la película de PE transparente como acolchado plástico
- ◆ Utilizar polietileno Biodegradable o fotobiodegradable con base de almidón, quitósan o alginato de sodio o potasio para minimizar problemas de contaminación ambiental.
- ◆ Después de solarizar inocular los microorganismos benéficos, para recolonizar el suelo.

LITERATURA CITADA

- Aarnoldi, I., Moyano, M. I., Seta, S., Faccini, D., y Avogradini, M., (2000). Evaluación de distintos métodos de control de malezas en viveros. Congreso Iberoamericano de Horticultura. Horticultura Argentina. Revista de la Asociación Argentina de Horticultura. pág. 78.
- Arnoldo, I., Puricelli, E., Faccini, D., Avogradini, M., Moyano, M. I. y Seta, S. (2003). Dinámica de la cobertura de malezas con control químico y solarización en viveros frutales. Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Rosario año 2003, número III.
- Al-Karaghoulí, A.A., y Al-Kayssi, A.W. (2001). Influence of soil moisture content on soil solarization efficiency. *Renewable energy*. 24(1): 131-144.
- Bàrberi, P., Bonari, E. y Mazzoncini, M. (2001). Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Sci*. 49: 491-499.
- Bàrberi, P., Bonari, E. y Mazzoncini, M. (2001). Weed density and composition in winter wheat as influenced by tillage systems. En: *Proc. 1st World Congress on Conservation Agriculture*, Madrid (España). 1-5 October, 451-455.
- Barros, B.C., Patrício, F.R.A., Lopes, M.E.B.M., Freitas, S.S., Sinigaglia, C., Malavolta, V.M.A., Tessarioli Neto, J., Ghini, R. (2004). Solarização do solo com filmes plásticos com e sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta. *Horticultura Brasileira*. Brasília, v. 22, n. 2, p.253-259, abril-junio.
- Bello, A., López-Pérez, J.A., García-Álvarez, A., Díaz-Viruliche, L. (2003). Biofumigación y control de los patógenos de las plantas. En Biofumigación en agricultura extensiva de regadío. España: Fundación Ruralcaja Alicante: Mundi-Prensa, pp. 343-362.

- Bello, A., Díaz, M.A. (2004). Situación del bromuro de metilo como fumigante del suelo en el año 2005. Usos críticos y alternativos en España. *Phytoma*. 161: 20 – 25.
- Bello, A. García, López-Pérez, J. A. y Díaz-Viruliche, L. Fundamentos científicos de la biofumigación [Scientific principles of biofumigation]. *Nematologica* Vol. 31, No. 2, 2001
- Benlioglu, S., Yildiz, A. and. Döken, T (2004). Studies to Determine the Causal Agents of Soil-borne Fungal Diseases of Strawberries in Aydin and to Control them by Soil Disinfestation. *J. Phytopathology*. 152, 509–513
- Benlioglu, S., Boz, O., Yildiz, A., Kas, G., kavalci, I., and. Benliog, K. (2005). Alternative Soil Solarization Treatments for the Control of Soil-borne Diseases and Weeds of Strawberry in the Western Anatolia of Turkey. *J. Phytopathology*. 153, 423–430
- Campelo, E., Arboleya, J., Rodríguez, J. (2006). Módulos de Manejo Integrado en Almacigos de cebolla; Solarización de Canteros para Almacigos programa Nacional de Horticultura serie Actividades de Difusión N° 452.
- Candole, B., Csinos, A.S., Wang, D. (2007). Distribution and efficacy of drip-applied matan- sodium against the survival of *Rhizoctonia solani* and yellow nutsedge in plastic-mulched sandy soil bebeds. *Pest mangement science*. 63 (5) :468-475.
- Cebolla, V. (2005) instituto valenciano de investigaciones agrarias (IVIA); la solarización como método de desinfección del suelo. Serie horticultura No.3
- Chase, C. A., Sinclair, T. R., Chellemid, O., Olson, S. M., Gilreath, J. P., Locascio, S. J., (1999). Heat-retentive films for increasing soil temperatures during solarization in a humid, cloudy environment. *Hort Science*; vol. 34, n° 6, pp. 1015-1047
- Chellemi, D.O., Mirusso, J. (2006). Optimizing soil disinfestation procedures for fresh market tomato and pepper production. *Plant disease*. 90 (5): 668-674.
- Clyde, L. E., Stapleton, J.J., Bell, C. E., DeVay, J. E. (2000). Soil Solarization A Nonpesticidal Method for Controlling Diseases, Nematodes, and Weeds. University of California. Vegetable Research and Information Center.
- Colombo, M., Obregón, V. (2006). Solarización. Publicación de la EEA Bella Vista Serie Técnica N° 18
- D'Addabbo, T., Sasanelli, N., Greco, N., Stea, V., and Brandonisio, A. (2005). Effect of water, soil temperatures, and exposure times on the survival of the sugar beet cyst nematode, *Heterodera schachtii*. *Phytopathology* 95:339-344.
- Dávila, M., Acosta, N. y Betancourt, C. (1999). Capacidad quitinolítica de hongos aislados de suelos agrícolas infestados con el nematodo nodulador (*Meloidogyne spp.*) en Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 83 (3-4):189-199

- Eshel, D., Gamliel, A., Grinstein, A., Di Primo, P., and Katan J. (2000). Combined soil treatments and sequence of application in improving the control of soilborne pathogens. *Phytopathology* 90:751-757.
- Espi, G. E., Salmerón, A., Fontecha, A., Y. García, A. I. 2006. Plastic Films for Agricultural Applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, Vol. 22, No. 2, 85-102
- Espi, G. E., Tapia, J. G. (1998). Plastic sheets containing anionic surfactants for improving the efficacy of agricultural soil disinfection by solarization. Repsol Quimica S.A., Spain. *Eur. Pat. Appl.* 8 pp.
- Ferreira, L.H.P.L., Molina J.C., Brasil C., y Andrade, G. (2003). Evaluation of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticidal proteins effects on soil microorganismos. *Plant and Soil*. 256: 161-168.
- Freire-Ricci, M. S., Oliveira, F. F., Simone, C. M., Costa, J. R., (2006). Carrot production and effect on soil fertility and nutrition as function of soil solarization for purple nutsedge weed control. *Bragantia* vol.65 no.4 Campinas 2006
- Gamliel, A. (2000). Soil amendments: a non-chemical approach to the management of soilborne pest. *Proceedings of the Fifty International Symposium on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation. ActaHorticulturae* 532:39-47.
- Ghini, R., Patricio, F.P.A., Sopusa M.D., Sinigaglia C., Barros B.C., López, M.E.B.M., Neto, J.T., Cantella, H. (2003). Solarization effects on physical, chemical and biological properties of soil. *Revista brasileña de ciencia do solo*. 27 (1) 71-79
- Gilreath, J. P., Noling, J. W., Locascio, S. J., Chellemi, D. O. (1999) Effect of MeBr, 1,3-dichloropropene + chloropicrin with pebulate and soil solarization on soilborne pest control in tomato followed by double-cropped cucumber. *Proc. Fla. State Hort. Soco* 112, 292- 297.
- Girefe, S., Girma, A., and Abde-Rahman, M. A. (2005). Effect of Soil Solarization on *Orobanche* Soil Seed Bank and Tomato Yield in Central Rift Valley of Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*. 1 (2): 143-147.
- González, V. M. (2005); Poblaciones de Microorganismos Asociados a la Rizósfera del Cultivo de la Calabaza (*cucurbita moschata* dutch.) Durante un Programa de Agricultura Sustentable. Tesis para el grado de Maestro en ciencias; Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.
- Greco, N., y Crozzoli, R. (2001) Potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* y *G. pallida*: general aspects. *Fitopatología. Venez.* 8(2).

- Han, D. Y., Coplin, D. L., Bauer W.D., y Hötink H. A. (2000). A rapid bioassay for screening rhizosphere microorganisms for their ability to induce systematic resistance. *Phytopathology*. 90: 327-332.
- Hasing, J. E. (2002) Agroeconomic effect of soil solarization on fall-planted lettuce a Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Horticulture.
- Haywood, J. D. (2000). Mulch and hexazinone herbicide shorten the time longleaf pine seedlings are in the grass stage and increase height growth. *New Forests*, 19:279-290.
- Iglesias, N., Wolfschmidt E., y Muñoz A. (2005) INTA. EEA Alto Valle; Centro Regional Patagonia Norte; Aspectos Climáticos.
- INTA., (2005), Estación experimental cultivos tropicales Yuto; ¿como solarizo? Horticultura serie solarización No. 2
- Ioannou, N. C., Poullis A., and Heale, J. B. (2000). *Fusarium* wilt of watermelon in Cyprus and its management with soil solarization combined with fumigation or ammonium fertilizers OEPP/EPPO, *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 30, 223-230
- Ioannou N. (2000). Soil Solarization as a Substitute for Methyl Bromide Fumigation in Greenhouse Tomato Production in Cyprus. *Phytoparasitica*. 28(3):248-256
- Ioannou N. (2001) Integrating soil solarization with grafting on resistant rootstocks for management of soil-borne pathogens of eggplant. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 76 (4) 396-401
- Johnson, W.C., Mullinx, B. G. (2007). Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control with methan-sodium in transplanted cantaloupe (*Cucumis melo*). *Crop protection* 26 (6):867-871.
- Kamra, A., and Sharma, S.B. (2000). Soil Temperature regimes and nematode distribution in India. *Indian Journal of Nematology* 30(2):219-224.
- Khalid, A., Arshad M., y Zahir, Z.A. (2004) Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology* 96: 473-480.
- Kokalis-Burell, N., Vavrina C. S., Roskopf E. N., & Shelby, R. A. (2002). Field evaluation of plant growth-promoting Rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida. *Plant and Soil* 238: 257-266.

- Lundsted, J. L., Jorge, C. J., Torres, A. P., Gonzalez, S. M. (2006); INIA Tratamientos Físicos y Prácticas Culturales Para la Desinfección de suelos y sustratos. Tierra/Adentro. Julio- Agosto 2006 Pág. 16-19.
- Martinez, G. P., Gomez de Barrera, D.; Cebolla R. V., Busto, C. A. (2002) La Horticultura Española en la C.E. La desinfección del suelo por energía solar (solarización). Capítulo 34; sociedad española de ciencias hortícolas.
- Mauromicale, G., Lo Monaco, A., Longo, A. M. G., Restcia, A. (2005). Soil solarization, a nonchemical method to control branched broomrape (orobanche ramosa) and improve the yield of greenhouse tomato. *Weed science* 53 (6): 877-883.
- McGovern, R. J., McSorley, R., and Urs, R. R. (2000). Reduction of Phytophthora blight of Madagascar periwinkle in Florida by soil solarization in autumn. *Plant Dis.* 84:185-191
- McGovern, R. J., Mc Sorley R. y Bell, M.L. (2002). Reduction of landscape pathogens in Florida by solarization. *Plant Disease.* 86: 1388-1395
- McGovern, R. J., and McSorle R. (2000) Effects of Solarization and Ammonium Amendments on Plant-Parasitic Nematodes Supplement to the *Journal of Nematology* 32(4S):537-541.
- Mehmet, A. S., Ibrahim, H. E. (2007). Methyl Bromide Alternatives for Controlling *Meloidogyne incognita* in Pepper Cultivars in the Mediterranean Region of Turkey. *J Turk Agric* 31. 31-40
- Misle E. A. y Norero Sch A. (2001). Comportamiento térmico del suelo bajo cubiertas plásticas. I. Efecto de diferentes tipos de láminas. *Agricultura Técnica. (Chile), Vol. 61, No. 4, pp. 488 - 499*
- Ocaña, R. C. R. (2007). Producción protegida. Productores de hortalizas, Mayo. Pág. 9.
- Ormeño, N. J. (2006). Malezas de huertos frutales y vides: Biología y control Reproducción de las malezas y su respuesta a fumigantes de suelo alternativos al bromuro de metilo. Colección Libros INIA No. 17, 2005, pág. 114.
- Ostrec, L. J., Grubisic, D. (2003). Effects of soil solarization on nematodes in Croatia. *Anzeiger fur Schadlingskunde. Journal of pest science* 76 (5): 139-144
- Ozores-Hampton, M. (2005), Stansly PA, McSorley R, Obresa T. A. Effects of long-term organic amendments and solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility.
- Peachey, R. E., Pinkerton, J. N., Ivors, K. L., Miller, M. L., and Moore, L. W. (2001). Effect of Soil Solarization, Cover Crops, and Metham on Field Emergence and Survival of Buried Annual Bluegrass (*Poa annua*). *Seed Weed Technology.* 15:81-88

- Pinkerton, J. N., Ivors, K. L., Miller, M. L., and Moore, L. W. (2000). Effect of soil solarisation and cover crops on populations of selected soilborne plant pathogens in western Oregon. *Plant Disease*. 84(9) 952-960
- Pinkerton, J. N., Ivors, K. L., Reeser, P. W., Bristow, P. R., and Windom, G. E. (2002). The use of soil solarization for the management of soilborne plant pathogens in strawberry and red raspberry production. *Plant Dis*. 86:645-651.
- Pinkerton, J., Bristow, P., USDA, ARS, Washington State University. (2002). Soil solarization: a component in controlling root rot or red raspberry. *Proceedings of Methyl Bromide Alternatives Meeting. Horticultural Crops Research*
- Pizano M. (2001) Producción de Flores sin Bromuro de Metilo. Este documento se encuentra disponible en la página web del Programa Acción Ozono del PNUMA en: www.uneptie.org/ozonaction UNEP.
- Rosado, A. (2005) Nematodos fitoparasíticos en calabaza (*Cucurbita moschata* Dutch.) Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de maestro en ciencias en Protección de Cultivos Universidad de Puerto Rico
- Scopa, A., Dumontet, S. (2007). Soil Solarization: Effects on Soil Microbiological Parameters. *Journal of Plant Nutrition* 30:537 – 547
- Sharman, A., Johri, B.N., Sharma, A.K., y Glick, B. R. (2003). Plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas* sp. strain GRP3 influences iron acquisition in mung bean (*Vignaradiata* L. Wilzeck). *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 887-894
- Sharon, E., Eyal, B. M., Herrera, A. E., Kleifeld, O., y Spiegel, Y. (2001). Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology*. 91: 687-693
- Shimon, P., Cohenb, R., Rachel, L., Katan, J. (2002) Improved solarization of containerized medium for the control of *Monosporascus* collapse in melon. *Crop Protection* 21 907-912.
- Schreiner, R. P., Ivors, Kelly L., Pinkerton, J. N. (2001). Soil solarization reduces arbuscular mycorrhizal fungi as a consequence of weed suppression *Horticultural Crops Research Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, Corvallis, OR, USA. Mycorrhiza* 11(6), 273-277.
- Singh, V. P., Anil, D., Mishra, J. S., Yaduraju, N. T. (2004). Effect of period of soil solarization and weed control measures on weed growth and productivity of soybean (*Glycine max*) Indian. *Journal of Agricultural Sciences*, 74 (6) 324-328

- Skutelski, Y., Gamliel, A., Kritzman, G., Peretz-Alon, I. B., and Katan, J. (2000). Soil Solarization Using Sprayable Plastic Polymers to Control Soilborne Pathogens in Field Crops. *Phytoparasitica* 28:3,
- Stapleton, J.J. (2000). Adoption of Soil Solarization in the USA. *Phytoparasitica* 28:2, 25
- Stapleton, J.J. (2000). Soil Solarization in Various Agricultural Practices *Phytoparasitica* 28:2, 28
- Stapleton, J.J. (2000). Solarization in various Agricultural production systems. *Crop protection* 19: 837 – 841.
- Steven, C. W. (2005). Soil microbial community dynamics following soil solarization in Nepal's rice-wheat cropping system. Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.
- Stevens, C.W., Khan A., Rodríguez-Kabana, R., Ploper, L.D., Backman, P.A., Collins, D.J., Brown, J. E., Wilson, M. A., y Igwegbe, E. C., (2003). Integration of soil solarization with chemicals, biological, control for the management of soilborne disease of vegetables. *Plant and Soil* 253: 493-506
- Teorema ambiental (2007). Junio de 2007. Núm. 64
- Verdú, A. M. C., Mas, M.T. (2002), Effects of thermal shocks on the germination of *Amaranthus retroflexus*. Use of the EXCEL Solver tool to model cumulative germination. *Seed Sci. & Technol.*, 30, 299-310
- Verdú, A.M.C., Mas, M.T. (2004). Modeling of the thermal shorts varying in temperatura and duration on cumulate germination of *Portulaca oleracea* L. *seed science and technology*. 32 (2): 297-308.
- Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255: 571-586
- Villasana, J. C., Font, M. I., Jorda, C. (2006). Biofumigación y biosolarización al bromuro de metilo. Facultad de Biología universidad de Murcia. *Agroecología* vol. 1.

Páginas de Web citadas.

- <http://www.escuelas.edu.ar/2002/radiacion/images/espectro.jpg>
<http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s0e.htm#TopOfPage>.
http://it.geocities.com/allfonsit/ozone/ozone_hole.jpg
http://www.higiene.edu.uy/biolcel/metabolismo_fisiologia.ppt#297,29.
<http://www.monografias.com/Image310.jpg>.

Cuadro 6. Incidencia de hongos de las raíces de las plantas de fresa desarrolladas en suelos solarizados, durante el mes de julio antes de la solarización y en el mes de septiembre inmediatamente después de la solarización.

Tratamiento ^y	Mes	Incidencia ^x			
		<i>Pythium</i>	<i>Phytophthora</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Fusarium</i>
Solarización	Julio	0.70 a ^z	0.90 a	0.60 a	0.20 a
	Septiembre	0.00 b	0.20 b	0.10 b	0.20 a
Testigo	Julio	0.82 a	1.00 a	0.55 a	0.27 a
	Septiembre	0.82 a	1.00 a	0.45 a	0.27 a

^xAislamiento de hongos (ocho segmentos) de raíces adventicias de 10 plantas de cada tratamiento.

^ySuelo solarizado del 24 de julio al 23 de septiembre. ^zLetras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) por el método de Duncan (Pinkerton *et al.*, 2002).

La enfermedad conocida como el colapso del melón causado por *Monosporascus cannonballus* hongo del suelo termotolerante, no ha sido controlado por la tecnología actual de la solarización aplicada en grandes volúmenes de suelo en contenedores, debido a que las temperaturas alcanzadas no son lo suficientemente altas para matar las ascosporas del patógeno. Motivo por el cual en Israel se realizó un estudio en invernadero durante el invierno y en el campo durante el verano, para determinar la eficacia de la solarización en contenedores o macetas de bajo volumen como medio de cultivo para el melón y así determinar el control de la enfermedad e incremento de la producción en dos ciclos de cultivo. La temperatura máxima alcanzada a la profundidad de 3 cm fue 55.4 °C en suelos no solarizados y 57.7 °C en las macetas. Las temperaturas en una capa más inferior fueron de 58.5 y 62.5 °C respectivamente.

El incremento de temperaturas máximas en las macetas de ambos experimentos a una profundidad de 3cm fue de 3 a 5 °C y de 7 a 10 °C en el fondo del contenedor comparado con las macetas no solarizadas. Esto permitió una reducción de la enfermedad y rendimientos más altos; en ambos estudios los métodos de solarización fueron altamente efectivos (Cuadro 7). Los incrementos en producción fueron correlacionados con la reducción de la enfermedad en ambos experimentos. Las plantas desarrolladas en suelos no solarizados se colapsaron totalmente en un plazo de 60 días. La mortandad de plantas en suelos solarizados fue solamente del 7 % al final del ciclo (Shimon *et al.*, 2002).

Cuadro 7. Efecto del calentamiento del suelo con temperatura controlada en la viabilidad de *Monosporascus cannonballus* determinado por el número de conidias y clamidosporas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (FOM) en las raíces de plántulas de melón.

Temperatura (°C)	Exposición (h)	^a Número de <i>M. cannonballus</i> en las raíces de las plántulas	FOM (%) (no tratado con temperatura) ^b
25	-	15.0ab ^c	100 a
45	1	NP ^d	25 b
45	5	NP	4 c
50	1	18.3 a	0 d
	5	21.4 a	NP
	24	2.0 b	NP
65	1	7.0 abc	NP
	5	17.5 a	NP
	24	6.0 abc	NP
	1	0.7 c	NP
60	5	0 c	NP
	24	0 c	NP

^aNúmero conidias de *Monosporascus cannonballus* en la raíz de las plántulas. ^b No tratado con temperatura (Shimon *et al.*, 2002).

En Florida se llevaron a cabo experimentos para evaluar la eficacia de la solarización conjuntamente con *Streptomyces lydicus* y *Pseudomonas chlororaphis* como agentes de control biológico; así como un fungicida (fludioxonil) en el manejo de los patógenos del suelo. El suelo naturalmente infestado se solarizó por 47 o 48 días durante septiembre y octubre usando dos capas de polietileno de baja densidad (transparente) de 25µm, separado por un espacio de aire de hasta 7.5 cm (Figura 8). La Solarización disminuyó la incidencia y el progreso de la putrefacción de la corona causada por *Rhizoctonia* y *Pythium* sp. La técnica también redujo la severidad de las nodulaciones de la raíz y las densidades demográficas de *Meloidogyne incógnita*, *Dolichodorus heterocephalus*, *Paratrichodorus minor* y *Criconemella* spp. (McGovern *et al.*, 2002).

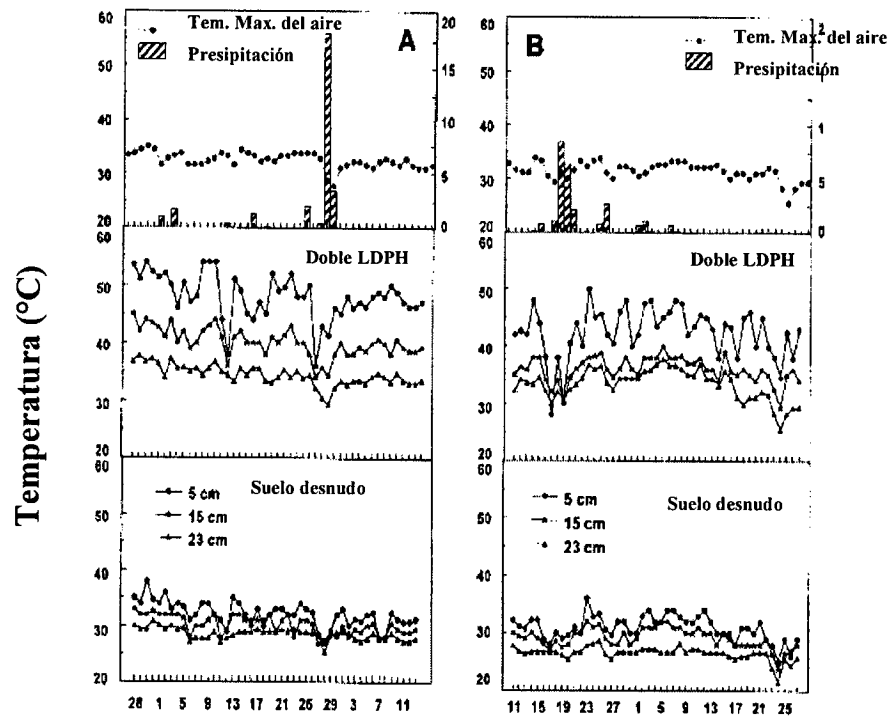


Figura 8. Efecto de la solarización del suelo en la temperatura máxima registrada bajo una doble película de LDPE a 5, 15, y 23 cm entre las 14:30 y 15:30 horas. (A) Temperaturas registradas durante el primer año de solarización. (B) Temperaturas registradas durante el segundo año. (McGovern *et al.*, 2002).

Combinación de la solarización con Bromuro de Metilo, metam sodio para el control de enfermedades en cultivos hortícolas

La solarización del suelo es un proceso donde se usa el acolchado con polietileno transparente para calentar la parte superior del suelo de 5-25 cm en donde se alcanzan temperaturas altas que son perjudiciales para los organismos patógenos del suelo. El uso de la solarización conjuntamente con otras estrategias que limitan el impacto de los patógenos y el incremento de las producciones, mejorarían la viabilidad de esta técnica para la producción vegetal (Kokalis-Burell *et al.*, 2002). En varios estudios se ha demostrado el efecto benéfico de combinar la solarización, la temperatura con otros agentes químicos bajo condiciones de campo e invernadero en una variedad de cosechas y patógenos. La combinación de la solarización con otros agentes de control permite el acortamiento del período de la solarización (Eshel *et al.*, 2000).

La combinación de BM o metam sodio con dosis reducidas y solarización de corta duración resultó ser más eficaz para el control de patógeno fungosos. La secuencia del tratamiento afectó perceptiblemente el control del patógeno en el campo y bajo condiciones controladas. Este estudio demuestra un efecto sinérgico al combinar tratamientos del suelo, así como el potencial para mejorar el control de los patógenos y reducir la dosis de los productos. La exposición de *sclerotinia* al BM en 25 y 37.5 g m⁻³ o a temperaturas de 48 °C durante 1 h retrasó su germinación, la dosis de 37.5 g m⁻³ fue la mas efectiva. En otro experimento se utilizaron 37.5 g m⁻³ de BM y temperaturas de 45 °C durante 2 h como dosis subletal para tratar *Sclerotia rolfsii* spp. La exposición a la temperatura o al BM retrasó la germinación, pero después de 48 h, los porcentajes de la germinación resultaron ser similares en los suelos no tratados. La combinación de la temperatura y BM retrasaron el porcentaje final de la germinación de los patógenos, debido posiblemente al efecto sinérgico (Pinkerton, 2002).

Ioannou (2000) realizó varios estudios para sustituir la aplicación de BM, uno de ellos lo realizó en el cultivo de tomate en invernadero utilizando la técnica de solarización. La solarización tuvo una duración de 8 semanas durante los meses de julio y agosto; la cual se comparó con la aplicación de BM aplicado en el mes de septiembre con una dosis de 80 g m⁻². La temperatura en suelos solarizados fue de 9 °C sobre la temperatura máxima registrada; con ello se logró reducir de 91 a 98 % la densidad poblacional de *Fusarium spp.* (Cuadro 8). Esto fue similar a los resultados obtenidos en suelos donde se aplicó el BM, ya que la reducción del inóculo fue de 95 a 99 %. Ambos métodos controlaron eficazmente la marchites por *Fusarium* y la pudrición de raíz por *Verticillium* en las plantas de tomate. El aumento de la producción en ambos tratamientos fue incrementado de 90 a 140 % en comparación con las plantas que crecieron en suelos no tratados con ningún método de desinfección.

En otro estudio que realizó el mismo autor la combinación de solarización y el BM mejoraron significativamente el nivel de control de marchites producido por *Fusarium*. La dosis baja del BM (50 gr m⁻²) fue tan eficaz como la dosis usada normalmente por los agricultores (100 gr m⁻²). Las enmiendas del suelo con los fertilizantes basados en amonio mejoraron aún más la eficacia de la solarización y la producción fue de hasta un

200 % superior en comparación con lo obtenido mediante la solarización sola. Los mejores resultados fueron obtenidos con el sulfato mono amónico y el fosfato de amonio con una dosis de 180 kg N ha⁻¹ (Ioannou *et al.*, 2000).

Cuadro 8. Efecto de la solarización y fumigación con bromuro de metilo en la densidad poblacional de *Fusarium* spp. a una profundidad de suelo de 20 cm.

	Tratamiento del suelo	Propágulos/g de suelo		
		Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% de cambio
Experimento 1	Solarización	10,700	190	-98**
	Bromuro de metilo	10,900	150	-99**
	Testigo o Control	9,300	9,950	+7ns
Experimento 2	Solarización	4,800	410	-91**
	Bromuro de metilo	5,600	280	-95**
	Testigo o Control	5,380	5,550	+3ns

**Diferencia estadísticamente significativa en p = 0.01. Ns = no significativo (Ioannou *et al.*, 2000).

La combinación de la solarización con otros métodos de control debe considerar la reducción del tiempo de tratamiento estándar de 30 a 40 días, a sólo 8 días como manera de mejorar la solarización. Una combinación adecuada de la solarización con una dosis reducida de algún producto químico debe reducir los efectos dañinos sin la reducción de un control eficaz. Cuando las poblaciones de los patógeno se exponen a dosis subletales, se tensionan y se debilitan, pero los que llegan a sobrevivir son más vulnerables a otros agentes bióticos o abióticos. Este efecto de debilitamiento es la base de la acción sinérgica de los tratamientos combinados (Eshel *et al.*, 2000).

La dosis subletal del BM y de la temperatura, aplicada en un sistema con ambiente controlado, retrasó la germinación de *Sclerotinia rolfsi*, esto es una muestra de debilitamiento. La misma tendencia se ha obtenido con *F. oxysporum* sp. ya que las conidias redujeron el alargamiento del tubo germinativo como resultado del debilitamiento por el calor. La solarización y la combinación del metam sodio mató propágulos de *F. oxysporum* sp y de *F. vasinfectum* más rápidamente que la solarización. Las ventajas de

combinar la solarización con los productos químicos, es que se retiene por más tiempo la volatilización del pesticida que quedó atrapado bajo el acolchado plástico, y posiblemente ayuda a la activación del pesticida cuando se está calentado. En este estudio se demostró que las cantidades de BM y metam sodio pueden ser disminuidos; el tiempo de la solarización se puede acortar, y la eficacia del manejo de los patógenos aumenta (Eshel *et al.*, 2000).

Las enfermedades del suelo causadas principalmente por los hongos *R. solani* y *P. cactorum* se consideran como el factor limitante para el cultivo de la fresa en varias partes del mundo. En un estudio que se realizó se aislaron un total de 169 patógenos obtenidos de la raíz de las plantas y de la corona de las fresas las cuales se cosecharon en de 76 campos, los patógenos que se aislaron fueron los siguientes: 71 de *R. solani* Khün, 44 de *Fusarium* spp., 22 de *Macrophomina* spp., 16 de *P. cactorum*, seis de *Epicoccum nigrum*, cuatro de *Pythium* spp., cinco de *Phoma* spp y dos de *V. dahliae* (Cuadro 9).

Cuadro 9. Número de patógenos de varias especies de hongos obtenidas durante tres años en plantas de fresa sembradas bajo túneles cubiertos con plástico.

Hongos patógenos	Número de patógenos aislados			
	1997	1998	1999	Total
<i>Rhizoctonia solani</i>	33	13	25	71
<i>Fusarium</i> spp.	25	10	9	44
<i>Macrophomina</i> spp.	14	–	8	22
<i>Phoma</i> spp.	–	4	–	4
<i>Phytophthora cactorum</i>	6	3	7	16
<i>Pythium</i> spp.	4	–	–	4
<i>Epicoccum nigrum</i>	6	–	–	6
<i>Verticillium dahliae</i>	1	–	1	2
Total	89	30	50	169

(Benlioglu *et al.*, 2004).

La temperatura en la superficie del suelo al final de la segunda semana fue de 60°C dentro de los suelos no tratados y 71 °C en suelos solarizados. En la tercera semana, la temperatura superficial de los suelos tratados con solarización alcanzo 82 °C, mientras que en suelos no solarizados seguía casi igual (62 °C). La diferencia total de la temperatura

entre el suelo no tratado y el suelo tratado con solarización en profundidades de 10 y 20 cm. se extendieron a partir del 7 a 17 °C y 2 a 10 °C respectivamente (Cuadro 10).

La solarización fue más eficaz que dazonet y es un método más factible para manejar enfermedades presentes en el suelo con la ventaja de mejorar la calidad del suelo si se aplica correctamente cuando las condiciones climáticas son favorables para alcanzar temperaturas altas en suelo. La otra ventaja de la solarización del suelo es una alternativa altamente rentable y ambientalmente seguro comparado con los productos químicos (Benlioglu *et al.*, 2004).

Cuadro 10. Temperaturas registradas a 0, 10 y 20 cm del perfil del suelo en parcelas solarizadas (S) y no solarizadas (NS).

Profundidad (cm)	Tratamientos aplicados al suelo									
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
	17-22 jul		23-29 jul		30 jul-5 ago		5-12 ago			
0	59.0	62.0	60.0	71.0	62.0	82.0	56.0	59.0		
10	38.0	49.0	42.0	54.0	42.0	59.0	45.0	52.0		
20	32.0	38.0	32.0	40.0	33.0	43.0	38.0	40.0		
	10-16 jun		17-23 jun		24-30 jun		1-7 jul		8-14 jul	
0	36.4	49.3	51.0	63.3	46.6	58.9	59.0	68.0	59.1	69
10	32.2	38.2	37.9	43.8	35.2	45.2	34.7	43.6	35.9	44.7
20	30.0	33.8	34.8	37.7	29.3	39.6	30.0	37.0	33.5	41

(Benlioglu *et al.*, 2004).

Otro estudio en el cultivo de fresa realizado también por Benlioglu *et al.* (2004), se consigna que *R. solani* (Kühn.) y *P. cactorum*, causaron enfermedades en este cultivo que ocasionó una mortandad de plantas del 84 % en suelos no tratados. La solarización del suelo duró 49 días en el año 2002 (del 20 de junio al 8 de agosto) y 52 días durante el 2003 (del 19 de junio al 10 de agosto). Los experimentos demostraron (Cuadro 11) que la solarización en camas levantadas y sus combinaciones con metam sodio a razón de 50

ml m⁻²) y estiércol de pollo (10 ton ha⁻¹) fue tan eficaz como el BM para causar el efecto de fumigación del suelo, pero usando productos orgánicos (Benlioglu *et al.*, 2005).

Cuadro 11. Porcentaje de las plantas muertas a la cosecha de la fresa obtenidas de varios tratamientos durante los ciclos 2002-2003 y 2003-2004

Tratamientos	(%) Incidencia de la enfermedad	
	1 Agosto 2004 (2002–2003)	8 Agosto 2004 (2003–2004)
Solarización (49 y 52 días)	25.04 b*	13.83 c*
Abono de pollo [10 ton ha ⁻¹ + solarización (49 y 52 días)]	26.30 b	16.10 c
Solarización [15 días + metam sodio (50 ml m ⁻²)]	26.45 b	13.79 c
Solarización [15 días + TeloDrip (250 kg ha ⁻¹)]		26.27 b
TeloDrip (500 kg ha ⁻¹)		26.42 b
Bromuro de metilo(50 g m ⁻²)	24.47 b	13.60 c
control	39.32 a	49.05 a

*Los valores con letra diferente demuestran diferencias significativas $P \leq 0.05$ según la prueba de Fisher (DMS). Los datos son valores medios de cuatro repeticiones (Benlioglu *et al.*, 2005).

La solarización de suelos con películas plásticas es también una alternativa factible para controlar una gran variedad de patógenos importantes en los almácigos. En un estudio realizado por Pinkerton *et al.* (2000) aislaron los siguientes patógenos *Phytophthora cinnamoni*, *V. dahliae* Kleb., *A. rhizogenes* y *Pratylenchus penetrans*. Las temperaturas máximas registradas en los suelos solarizados a 20 cm de profundidad fueron de 10 a 16 °C superior a los suelos no solarizados. La solarización redujo las poblaciones de *V. dahliae* con una eficacia como la del metam sodio a una dosis de 930 L ha⁻¹. La supervivencia de los propágulos de *V. dahliae* los cuales fueron enterrados en el suelo dentro de bolsas de plástico antes de solarizar, disminuyeron en todos los tratamientos y a todas las profundidades comparadas con el testigo o control, pero este efecto disminuyó con el incremento de profundidad; ya que a 5 y 10 cm la solarización fue más eficaz que la fumigación del suelo. La solarización redujo *P. cinnamoni* por debajo de los niveles superiores perceptibles a 10 cm de profundidad del suelo y fue tan eficaz como la fumigación del suelo con metam sodio y BM (Pinkerton *et al.*, 2000).

Solarización e incorporación de compuestos biológicos, orgánicos y químicos, para el manejo de nematodos en campo e invernadero

La solarización reduce efectivamente las poblaciones de nematodos, pero su eficacia está en función de la temperatura letal que se alcancen en la profundidad del suelo y del grado de infestación inicial. Los nematodos generalmente son más tolerantes al calor y su control es menos efectivo a profundidades por debajo de los 30 cm (Lundsted, 2006). La solarización es una práctica eficaz capaz de controlar nematodos, aun cuando puede causar tensión en la biomasa microbiana del suelo las enmiendas orgánicas ejercen un papel protector que mantiene la población microbiana del suelo y las actividades enzimáticas protegiéndolas contra el efecto perjudicial del calor (Scopa *et al.*, 2007).

Los nematodos fitoparasíticos constituyen un factor limitante para la producción agrícola en muchas zonas del mundo. *Meloidogyne* spp., se considera el nemátodo de mayor importancia económica en las hortalizas, siendo *M. incognita* una de las especies más patógenas que limitan la producción a nivel comercial. La presencia de nematodos se detecta por la aparición de nódulos en las raíces. Los síntomas aéreos observados en la planta son marchites, amarillamiento, falta de vigor, enanismo, y disminución en la producción y calidad de la fruta (Dávila *et al.*, 1999). Se han utilizado diferentes métodos de combate de este patógeno, siendo los nematocidas de origen químico los más efectivos. No obstante, estos productos son costosos y tienen un efecto detrimental en el ambiente y la salud humana.

Como alternativa al control químico en Puerto Rico se ha evaluado el potencial de las enmiendas o ingredientes naturales (Figura 9), tales como la rotación de cultivos, aplicación de materia orgánica y solarización (Cuadro 12), que resultan ser efectivos en el manejo de nemátodos fitoparasíticos (Rosado, 2005). La solarización del suelo es una buena práctica cuando logra calentar el suelo hasta una temperatura letal para los huevecillos y los estados móviles de los nemátodos. El efecto invernadero que se produce bajo el plástico permite que la temperatura del suelo alcance valores entre 5 a 12 °C por encima de la temperatura del aire, la cual puede ser letal para los nematodos hasta los 20 a 30 cm de profundidad.

En países de clima cálido se logra una mortandad de nematodos del 100 % a una profundidad de 10 cm y un poco menos a profundidades mayores. La combinación de la solarización del suelo con nematicidas en dosis reducidas a la mitad o a un tercio de las recomendadas, permite un buen control de estos parásitos del suelo y se reduce el efecto contaminante del medio ambiente (Greco y Crozzoli, 2001). La eficacia mejorada de la solarización con enmiendas requiere de investigación adicional antes de que pueda ser integradas con éxito para el control eficaz de los nematodos parásitos de las plantas por un período relativamente corto (3 semanas) de solarización (McSorle y McGovern, 2000).

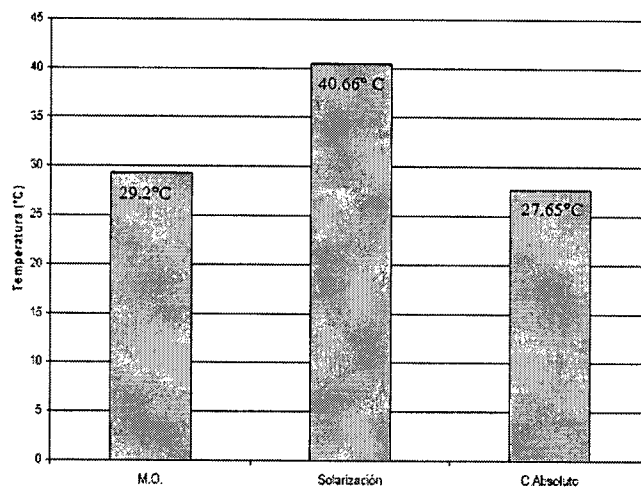


Figura 9. Temperatura promedio alcanzada en los tratamientos de incorporación de materia orgánica (M.O.), solarización y control absoluto, por un periodo de 120 días (junio a octubre de 2003). (Rosado, 2005).

Cuadro 12. Temperatura promedio alcanzada en los tratamientos con incorporación de materia orgánica, solarización y en el suelo testigo.

Tratamientos	Temperatura (°C)		
	Máxima	Mínima	Δ Temperatura
Incorporación de M.O.	39.42	23.31	16.11
Solarización	53.27	30.33	22.94
Testigo	31.75	25.29	6.46

(Rosado, 2005).

Los nematodos son organismos que poseen distintas necesidades térmicas para la eclosión de huevos, desarrollo, reproducción y sobrevivencia. Temperaturas entre 25 y 30 °C son ideales para que los nematodos lleven a cabo sus funciones en zonas tropicales y subtropicales. Esto aplica a géneros como *Rotylenchulus*, el cual es un nematodo polífago que posee alta fecundidad lo que facilita su propagación durante todo el año en diferentes cultivos. *Meloidogyne* y *Rotylenchulus* tienen una amplia adaptabilidad, ya que sus rangos de temperatura son de 8.3 a 35 °C y 11 a 36 °C, respectivamente. Por otro lado, *Pratylenchus* tiene un rango de temperatura tan baja como 5 °C y tan alta como 35 °C, lo que implica que podemos impactar de manera negativa las poblaciones de nematodos siempre y cuando se logre aumentar las temperaturas del suelo drásticamente sobre el nivel térmico de cada especie.

Temperaturas mayores de 45 °C son letales para la mayoría de los microorganismos, incluyendo a los nematodos (Kamra y Sharma, 2000). La solarización del suelo puede controlar muchas especies de nematodos. Sin embargo, no siempre es tan eficaz en nematodos porque ellos son relativamente móviles y tienen el poder de recolonizar el suelo rápidamente. Para el manejo de nematodos se requiere de un tratamiento anual. Los Nematodos pueden sobrevivir en un perfil más profundo de hasta 30 cm causando daños en la raíz de las plantas (Clyde *et al.*, 2000).

Ostrec y Grubisic (2003) realizaron un estudio sobre la solarización en invernadero y a campo abierto durante los meses de julio y agosto; cubriendo el suelo con polietileno transparente de 0.015 y .050 mm (15 y 50 μ) de espesor. A campo abierto la solarización del suelo redujo drásticamente la población de nematodos fitoparásitos (97-100 %) de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Tylenchus tylenchorhynchus* sp., a una profundidad de 10 cm y del 92 - 97 % a una profundidad de 20 cm. Bajo invernadero a 10 cm la población de nematodos se redujo del 89-100 % y a 20 cm el porcentaje de reducción fue de 98-100 % en los mismos experimentos. La población de nemátodos saprofitos en el campo tuvo una reducción del 86 al 90 % a 10 cm, mientras que a 20 cm fue de 90-100 %. En condiciones de invernadero la reducción de la población fue de 87 - 97 % a 10 cm y de 87 - 93 % a 20 cm. Estos datos demuestran que la solarización del suelo fue menos eficaz en el control de nematodos saprófitos lo cual se considera como una ventaja.

Steven (2005) realizó otro estudio donde la solarización del suelo disminuyó el número total de nematodos (Figura 10); estadísticamente hubo una disminución significativa del número total de nematodos extraídos de suelos solarizados. Se registró un índice de severidad bajo de nematodos del género *Meloidogyne graminicola*, aleatoriamente se seleccionaron 100 plantas del almácigo con suelo sin solarizar, de las cuales 97 mostraron daño por *M. graminicola*, esto se comparó con lo observado en almácigos con suelo solarizado donde no se encontró ningún daño.

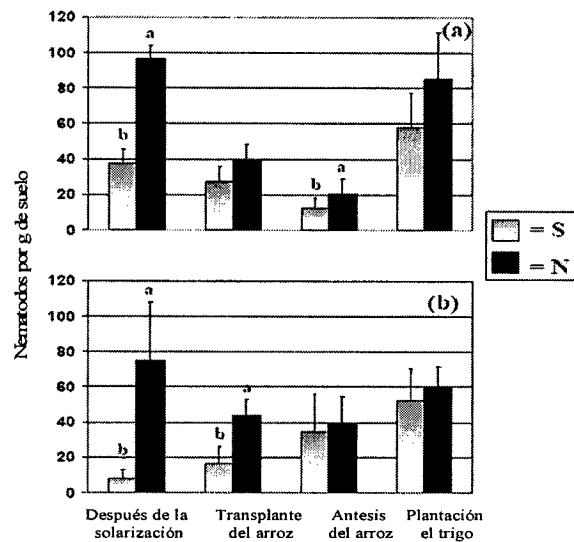


Figura 10. Número total de nematodos extraídos del suelo en muestras de campo de Khumaltar (a) y Rampur (b). S = suelo solarizado; N = no solarizado. Las letras indican la diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos. Las barras del error representan una desviación estándar de medias (Steven, 2005).

Las temperaturas máximas del suelo para los sitios de las áreas de Khumaltar (a) y de Rampur (b) se muestran en la Figura 11. El incremento de la temperatura máxima del suelo durante la solarización fue de 10.8 °C a una profundidad de 5 cm en ambos lugares. En Khumaltar a la profundidad de 5 cm la temperatura fue de 40.5 °C en parcelas solarizadas y de 29.7 °C en las no solarizadas; con un incremento de temperatura del 26 %. Las parcelas solarizadas en Rampur alcanzaron una temperatura de 48.7 °C, mientras que en el testigo la temperatura fue 37.9 °C a una profundidad de 5 cm, el incremento en los suelos solarizados fue del 22 %. A una profundidad de 10 cm el incremento de temperatura durante la solarización fue de 8.3 °C y 8.9 °C en Khumaltar y Rampur, respectivamente.

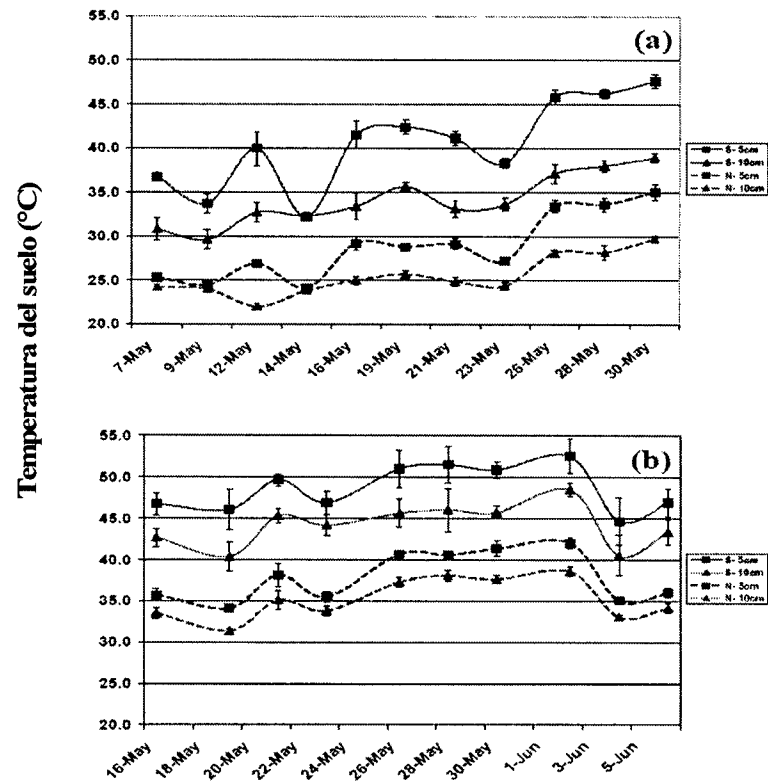


Figura 11. Promedio de temperaturas máximas del suelo a la profundidad de 5 y 10 cm en Khumaltar (a) y Rampur (b). S = solarizado; N = no solarizado. Las barras del error representan una desviación estándar de medias (Steven, 2005).

En Chipre se evaluó el efecto de la solarización del suelo y el injerto del tomate como un método integrado para el control de patógenos presentes en el suelo. Los nematodos resultaron resistentes a la solarización (en invierno) en ensayos con cultivos bajo invernadero. En cultivos de campo y durante el verano, cerca del 50 % de las plantas injertadas se infestaron levemente con nematodos, al parecer debido a la interrupción de la resistencia en las altas temperaturas del suelo (Ioannou, 2001).

En otro estudio se evaluaron los efectos de la solarización del suelo con una duración de 3 semanas contra nematodos parásitos de la calabaza (*Cucurbita pepo*). Durante el ciclo de crecimiento en la parte superior del suelo se suprimió la población de *Belonolaimus longicaudatus*, *Crieonemella* spp, y *Doliehodorus heteroeephalu*.

Inicialmente se suprimió el nivel de *Meloidogyne incognita*, sin embargo, las densidades demográficas crecieron al final de la cosecha. Las colonias de *Paratrichodorus minor* resurgieron después de la solarización. El efecto de la solarización no se mejoró con la combinación de enmiendas de amonio, sin embargo, la aplicación de bicarbonato o sulfato de amonio dio lugar a poblaciones más bajas de *B. langicaudatus* que en suelos no tratados (McSorle y McGovern, 2000).

Cuadro 13. Efecto de la solarización en la población de nematodos patógenos de las plantas. Datos obtenidos de dos campos (1 y 2).

Nematodos	Nematodos por 100 cm ³ de suelo							
	7 de abril		30 de abril				Calabaza	
	Solarización	Testigo	Solarización	Testigo	Vinca	Testigo	Solarización	Testigo
Campo 1								
<i>Belonolaimus longicaudatus</i>	2	3	1*	4	1*	4*	1*	4
<i>Criconemella</i> spp.	28	31	18*	39	18*	34	27*	57
<i>Dolichodorus heterocephalus</i>	6	6	2*	5	1**	8	2**	13
<i>Hemicyclophora</i> spp.	14	12	2*	11	5	11	6	9
<i>Hoplolaimus galeatus</i>	7	7	9	14	3*	7	10	15
<i>Meloidogyne incognita</i>	53	58	15*	32	6*	10	42	30
<i>Paratrichodorus minar</i>	21	21	3**	18	5	8	16	19
Campo 2								
<i>Belonolaimus longicaudatus</i>	<1	<1	<0*	1	<1*	6	<1**	6
<i>Criconemella</i> spp.	1	1	1	1	1*	4	0**	3
<i>Dolichodorus heterocephalus</i> 15	3	3	1**	8	2**	15	1**	15
<i>Hemicyclophora</i> spp.	14	<1	<1*	1	<1**	5	<1**	3
<i>Meloidogyne incognita</i>	149	8	4*	10	15	8	24	10
<i>Paratrichodorus minor</i>	957	11	1**	12	47**	13	54**	13
<i>Tylenchorhynchus</i> spp.	57	61	33*	58	88	109	75**	122

(* , **) Indican diferencia significativa con $P \leq 0.05$ o $\leq P, 0.01$, respectivamente (McSorle y McGovern, 2000).

Cuadro 14. Efecto de la incorporación de amonio en el suelo sobre la población *Belonolaimus longicaudatus* y *Criconemella* spp.

Tratamientos	Nematodos/100 cm de suelo			
	30 June			
	7 April	30 April	Vinca	Squash
<i>Belonolaimus longicaudatus</i>				
Ninguno	4 a	5 a	5 a	5 a
Bicarbonato de amonio	1 a	1 b	2 b	1 b
Sulfato de amonio	2 a	1 b	1 b	2 b
<i>Criconemella</i> spp.				
Ninguno	31 a	37 a	35 a	46 a
Bicarbonato de amonio	17 a	22 a	10 b	22 a
Sulfato de amonio	41 a	28 a	33 a	57 a

(McSorle y McGovern, 2000).

Un trabajo enfocado a determinar el efecto de la temperatura y tiempo de exposición en la mortandad de de *Schachtii heterodera* reveló que la viabilidad de los huevecillos expuestos en agua a una temperatura de 50 °C se suprimió después 2 h y se inhibido después de 1-2 h a 52.5 °C. La aparición de quistes juveniles expuestos con una combinación de tiempo y temperatura baja dentro del suelo fue mayor comparado con las expuestas en combinaciones más altas en el cual la aparición se suprimió. La mortandad de los huevecillos comenzó después de la exposición por 256 h a 40 °C, 32 h a 42.5 °C, y 16 h a 45 °C, y 81, 31, y 7 h de exposición a 40, 42.5, y 45 °C, respectivamente. La mortandad de la población los huevecillos del nematodo fue de 50 %. Sin embargo, la sensibilidad al efecto negativo de la temperatura puede variar según la etapa de la especie y según el ciclo de vida del nematodo. Los quistes de los huevos del nematodo de la remolacha *S. heterodera* son relativamente tolerantes a altas temperaturas (D'Addabbo *et al.*, 2005). En el Cuadro 15 es evidente que la exposición a temperaturas causó un aumento en el porcentaje los huevecillos por la combinación de exposición de tiempo a temperaturas bajas y una reducción en exposición y en combinación con altas temperaturas.

Cuadro 15. Porcentaje de huevecillos de *Schachtii heterodera* después de la exposición en el suelo en diversas combinaciones de temperatura y tiempo.

Exposición (horas)	Temperatura °C						
	25	32.5	35	37.5	40	42.5	45
2	53.7±2.35						
4	58.3±2.21						
8	70.4±2.77						48.0±3.18
16	75.8±3.18						8.9±0.66
32	76.3±2.71				82.1±3.15	47.1±3.21	0.3±0.06
64	60.8±2.59				48.8±1.52	0.6±0.09	0.2±0.05
128	64.5±2.31	81.0±1.37	76.9±2.4	76.3±2.78	39.1±1.34	0.1±0.04	0.1±0.06
256	60.9±1.67	75.5±1.49	72.9±1.94	77.9±1.82	1.1±0.08	0.1±0.01	0.0±0.00
512	81.7±1.64	81.3±2.28	84.0±1.61	77.2±3.44	1.4±0.15	0.1±0.01	0.0±0.0
1,024	76.1±1.62	69.5±0.75	75.6±1.51	75.4±3.11	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
2,048	83.5±1.79	88.1±1.08	88.1±1.08	61.5±1.61	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0

(D'Addabbo *et al.*, 2005).

En la región mediterránea de Turquía se analizó información para determinar la eficacia de la solarización del suelo conjuntamente con *Trichoderma* spp. (S + Tr); con dazonet (S + D con una dosis de 300, 400 y 500 kg ha⁻¹) y solarización con estiércol fresco de pollo (S + EP 12.5 t ha⁻¹); como alternativas al BM contra nematodos que causan nódulos en la raíz (*M. incognita*) en cultivares del pimiento establecidos en invernaderos.

La solarización del suelo por 6 semanas incrementó la temperatura del suelo en 8.4 y 7.8 °C a 10 cm de suelo en los años 2000 y 2001, respectivamente. La población de la segunda etapa juvenil (J2) de *M. incognita* se redujo eficientemente con los tratamientos de S + Tr, S + D300, S + D400, S + D500, S + EP, y BM hasta el día 16 de mayo en el primer y segundo año. Sin embargo, la población J2 comenzó a aumentar después de febrero en suelos no tratados. Los índices de daño de la raíz fueron bajos (0.7 a 1.9) en todos los tratamientos, excepto en suelos no tratados donde el índice de daño fue de aproximadamente 6 (índice de 0 a 10 en la escala de daño). Es importante señalar que todos los tratamientos alternativos al BM suprimieron con eficacia el daño de los nematodos de la raíz durante todo el período vegetativo (Mehmet *et al.*, 2007).

Cuadro 16. Temperaturas del suelo (°C) a una profundidad de 10 cm durante la solarización y la diferencia de temperatura entre el suelo solarizado y no solarizado

Fecha	Temperatura en suelos solarizados				Temperatura en suelos no solarizados				
	Máxima ^b	Media ^c	Cambio ^d	Máxima absoluta ^e	Máxima ^b	Media ^c	Cambio ^d	Máxima absoluta ^e	Diferencia ^a
3 jul- 24 ago 2000	42.3±0.8	37.3±1.3	10.0±0.6	45.0	31.2±0.8	28.9±0.7	4.5±0.3	34	8.4±0.7
17 jul- 03 sep2001	45.4±0.4	39.2±1.5	12.5±0.3	46.4	34.0±0.7	31.4±0.8	5.2±0.7	36.7	7.8±0.4

a.- Diferencia de medias del promedio de la temperatura en suelo solarizado y no solarizado ±

b.- Temperatura máxima del suelo (promedio por encima de los tratamientos)

c.- Temperatura media (se realizó un promedio de todas las lecturas)

d.- Cambio de temperatura media (promedio de la diferencia diaria entre las lecturas más altas y más bajas)

e - temperatura máxima registrada (Mehmet *et al.*, 2007).

La solarización del suelo es para controlar patógenos y parásitos del suelo en las regiones subtropicales y meridionales de las zonas desérticas, pero hay datos limitados sobre su eficacia en las latitudes templadas. Motivo por el cual se realizó un trabajo donde las temperaturas máximas registradas a 30 cm de profundidad fueron de 34 °C, En este estudio, la dosis termal superior a 10 cm, fue de aproximadamente 150 h sobre 40 °C y 10 h arriba de 45 °C. Estas temperaturas están en el rango para ocasionar la mortandad de muchos patógenos. Esta investigación demostró que la solarización puede reducir, pero no eliminar, densidades demográficas del nematodo *Pratylenchus penetrans* en el perfil superior del suelo (0 - 30 cm). La solarización dio lugar a una reducción significativa de densidades poblacionales de varios patógenos que causan enfermedades de importancia, pero en general no fue tan eficaz como la fumigación con BM o dosis altas de metam sodio (Pinkerton *et al.*, 2000).

Control de malezas anuales y perennes con la solarización

Un amplio espectro de semillas y plantas de malezas anuales y perennes son controladas por la solarización del suelo. La sensibilidad de las malezas es variable en función de la estructura de su semilla o estado y profundidad de crecimiento. Las semillas más resistentes requieren para su control una humedad óptima, un ajuste perfecto del plástico sobre la superficie del suelo y una alta radiación por más de 40 días (Lundsted, 2006). En muchos sistemas agrícolas de todo el mundo la competencia de las malezas es uno de los principales factores que reducen el rendimiento de los cultivos y el ingreso de los agricultores. En los países en desarrollo, los herbicidas difícilmente están accesibles a un precio razonable, por lo tanto, los agricultores a menudo deben confiar en métodos alternativos para el manejo de las malezas. La solarización del suelo es un método preventivo que utiliza la radiación solar para eliminar las malezas (Cuadro 17) y reducir así su emergencia (Bàrberi *et al.*, 2001). Los suelos cultivables poseen mayores cantidades de semillas que los menos cultivados: mientras más disturbado (roturado por las actividades agrícolas) sea el suelo, mayor es la importancia de las especies invasoras. Todas las semillas están capacitadas para permanecer vivas en el suelo por muchos ciclos de crecimiento o temporada (Ormeño, 2006).

Para entender porque la solarización no controla adecuadamente la maleza *Portulaca oleracea* L. se realizó un estudio para ver los efectos termales. Las semillas embebidas e incubadas por 30 días fueron expuestas a diversas temperaturas (55, 60 y 65 °C) durante una y 10 horas. Las semillas también fueron expuestas a 35 °C y 125 °C una hora antes de la imbibición. Se determinó que si la temperatura del suelo no alcanza los 60°C durante la solarización las semillas pueden germinar. Cuando los choques termales excedieron un umbral dado (60 °C durante dos horas y 65 °C durante una hora) el porcentaje final de la germinación disminuyó y el periodo necesario en horas para la germinación temprana de las semillas aumentó (Verdu y Mas, 2004).

En la India se llevó a cabo un experimento de campo para estudiar los efectos del período de la solarización como medida de control de las malezas en el cultivo de soya (*Glycine max* cv. JS 335). La temperatura máxima del suelo bajo el acolchado con polietileno transparente fue de 56.4 °C en la superficie, 53.6 °C a 5 cm, 44.3 °C a 10 cm y 39.4 °C a la profundidad del suelo de 15 cm. La solarización del suelo por 5 semanas redujo en 95 % la aparición de arroz de la selva (*Echinochloa colona*), yute salvaje (*Corchorus* sp) en 83 %; flor de día común (*Commelina communis*); la mala hierba de la gripe se eliminó en 80 % y (*Phyllanthus fraternus*, syn. *P. niruri*) en 58 %. Por lo tanto, la solarización durante 5 semanas redujo significativamente la población de malezas y el peso seco en 82 y 90 % respectivamente (Singh *et al.*, 2004).

En el verano del 2002 y 2003 se realizaron estudios para evaluar el efecto de la solarización del suelo en el control de *Orobancha* en el valle central Etiopía en el cultivo de tomate. Los campos infestados naturalmente de *O. ramosa* y *O. cernua*, se cubrieron con polietileno transparente y negro. Se evaluó la eficacia de estos plásticos para transferir el calor al suelo. En el suelo cubierto con polietileno transparente las temperaturas se incrementaron de 32 a 48 °C, de 33 a 46 °C y de 37 a 49 °C, y en los suelos acolchados con polietileno negro las temperaturas que se registraron fueron de 32 a 42 °C, 30 a 42 °C y de 32 a 41 °C. También se comparó el efecto de la solarización en la reducción del banco de la semilla de *Orobancha* entre los suelos acolchados con plástico transparente y suelo cubiertos con plástico negro. Los resultados demostraron que el control de *Orobancha* fue

de 97, 92 y el 91 % para los suelos acolchados con plástico transparente; mientras que en suelos cubiertos con plástico negro el control fue de 89, de 88 y 86 %. Por lo tanto, el polietileno transparente fue más eficaz que el negro para solarizar (Girefe *et al.*, 2005).

Cuadro 19. Porcentaje de reducción de la población de malezas de *Orobancha* spp y producción media de tomate en suelo acolchado con películas de polietileno transparente

Periodo de solarización	Año 2002		Año 2003		Rendimiento (kg ha ⁻¹)
	Plantas de <i>O. ramosa</i> y <i>O. Cernua</i>	Reducción de malezas (%)	Plantas de <i>O. ramosa</i> y <i>O. Cernua</i>	Reducción de malezas (%)	
2 semanas	38	76	41	70	74,583
3 semanas	72	55	60	56	67,083
4 semanas	14	91	8	94	81,250
6semanas	5	97	3	98	85,410
8semanas	10	94	34	75	75,000
Control	159		137	-	65,000
Valor DMS	17.9		16.01		12.00
CV (%)	13.08		14.16		16.00

Cuadro 20. Porcentaje de reducción de la población de malezas de *Orobancha* spp y producción media de tomate en suelo acolchado con películas de polietileno negro.

Periodo de solarización	Año 2002		Año 2003		Rendimiento (kg ha ⁻¹)
	Plantas de <i>O. ramosa</i> y <i>O. Cernua</i>	Reducción de malezas (%)	Plantas de <i>O. ramosa</i> y <i>O. Cernua</i>	Reducción de malezas (%)	
2 semanas	45	78	43	70	55,000
3 semanas	65	77	52	64	45,000
4 semanas	49	65	48	86	50,000
6semanas	21	89	23	84	60,000
8semanas	55	76	57	60	48,000
Control	200	-	145	-	49,000
Valor DMS	19.00		5.56		377
CV (%)	12.00		15.06		100

(Girefe Sahile *et al.*, 2005).

Otro estudio realizado en la región mediterránea; se implementó la solarización para el control de la maleza *O. ramosa* en el cultivo de tomate bajo invernadero. La solarización se logró con el uso de películas plásticas de polietileno que cubrieron el suelo húmedo. La temperatura máxima a 5 cm fue 45°C durante 34 a 58 días. La solarización eliminó cerca del 95 % de las semillas viables que se enterraron en el suelo. La producción se incrementó de 133 a 258 % en los suelos solarizados en comparación con los suelos no solarizados (Mauromicale *et al.*, 2005).

Peachey *et al.* (2001) estudiaron el efecto de la solarización mas la incorporación de residuos de cosechas y la aplicación de metam sodio en la germinación y supervivencia en el campo de las semillas de la maleza *Bluegrass anual (Poa annua)*. Las semillas de *Bluegrass* se incorporaron en el suelo como prueba biológica; las muestras del suelo fueron extraídas a una profundidad de 15 cm para determinar su efecto sobre la sobrevivencia de la semilla. La solarización del suelo se aplicó durante un periodo de 53 a 59 días usando acolchado de polietileno transparente de 0.015 mm (15 μ). Las temperaturas máximas registradas en el suelo solarizado a las profundidades de 5, 10, y 20 cm fueron 52, 47, y 33 °C respectivamente. La solarización redujo la sobrevivencia de la semilla de *Bluegrass* de 89 a 100 % en estrato superior al suelo (5 cm), pero no redujo la sobrevivencia debajo de los 5 cm.

La solarización mas la incorporación de residuos verdes de cosechas no mejoraron la eficacia de la solarización. La solarización mejoró la eficacia al reducir la dosis del metam a un cuarto (230 L ha⁻¹) en los 5 cm del estrato superior del suelo, reduciendo la sobrevivencia total en 40 % de semilla de *Bluegrass*, en comparación con metam sodio (230 L ha⁻¹) el cual tuvo una efectividad como herbicida de sólo 30 %. Los efectos de la solarización en la sobrevivencia de la semilla de malezas son raramente encontrados debajo de 6 cm, con 40 días de solarización. La labranza después de la solarización puede eliminar los efectos de la solarización dependiendo de la profundidad de la eficacia de la solarización y de la redistribución de la semilla de malezas durante la labranza (Peachey *et al.*, 2001).

Mayor disponibilidad de nutrimentos mediante la solarización

En un estudio realizado en Brasil con el cultivo de la lechuga se encontró que en suelos solarizados hubo incrementos en la concentración de los siguientes nutrientes: NH_4 (190 %), manganeso (94.6 %) y Mg (18 %). Las plantas de la lechuga en suelos solarizados reportaron niveles más altos de Zn (43 %), de Mg (12 %) y de K (4 %). La solarización causó un aumento en el suelo de la concentración de manganeso (236 %) y de Cu (18 %); mientras que en las plantas de la lechuga ocasionó aumentos del 99 % de manganeso y 27 % de Cu (Barros *et al.*, 2004).

En otros experimentos también se evaluaron los efectos de la solarización. En suelos solarizados hubo un aumento significativo en la concentración de $\text{NH}_4 + \text{N}$ y NO_3 N, Mg y K. Por otra parte, la concentración de Cu, Fe, Al y Zn disminuyeron. Los resultados demostraron que la solarización causó cambios en el suelo, tanto en las características físico-químicas, como en las biológicas; mejorando también la estructura del mismo, lo que permitió que fueran más disponibles los nutrientes; la solarización también aumentó de la supresividad de los patógenos (Ghini *et al.*, 2003). En el cultivo de la zanahoria la solarización aumentó la biomasa microbiana, así como también las concentraciones de calcio, magnesio y fósforo (Freire-Ricci *et al.*, 2006).

Efecto de la solarización en el incremento del rendimiento

Las plantas que crecen en suelo solarizado frecuentemente se desarrollan más rápido y tienen mejores rendimientos y mejor calidad comparada con las que crecen en suelo no solarizado (Lundsted, 2006). En Chipre se evaluó el efecto de la solarización del suelo y el injerto del tomate. La producción media (kg/planta) obtenida en dos ensayos en invernadero fue de 9.5 para el control, 16.1 en el injerto, 14.1 para la solarización y 20.2 para la combinación de los dos métodos (solarización e injerto). El uso integrado de la solarización y del injerto parece ser una buena alternativa a la fumigación con bromuro de metilo (Ioannou, 2001).

En cultivos de fresas la solarización controló mejor las enfermedades y se obtuvo una producción de 59 ton ha⁻¹ más que en el cultivo tratado con dazonet con la dosis de 50 g/m², en el cual se tuvo una producción de 34.4 t/ha, mientras que en suelo no tratado el rendimiento fue de 22.4 ton ha⁻¹. La solarización fue altamente eficaz y se logró un aumento en la producción de fresas de 163.3 % comparadas con el testigo no tratado (Benlioglu *et al.*, 2004).

En la India se llevo a cabo un experimento de campo para estudiar los efectos del período de la solarización. En el estudio se encontró que la solarización por 4 y 5 semanas dio lugar a hojas más grande, mayor área foliar y más materia seca por planta. La solarización con polietileno transparente aumentó la producción de semillas de soya, también se obtuvo mayor número de vainas por planta, mayor peso en 1,000 semillas, y mayor número de semillas por vaina. La producción de semilla más alta (1,645 kg ha⁻¹) fue obtenida con la solarización durante 5 semanas; este rendimiento fue 110 % más alto que la producción de semillas en suelos no solarizados (Singh *et al.*, 2004). Los tratamientos combinados de solarización y BM, mejoraron significativamente el nivel y la producción comercial de hasta 100 % en el cultivo de tomate (Ioannou *et al.*, 2000).

AREAS DE OPORTUNIDAD PARA LA SOLARIZACIÓN

Los invernaderos son lugares ideales para la solarización, puesto que son áreas pequeñas, la temperatura del suelo se incrementa enormemente con los posibles efectos benéficos que esto pueda significar. Así como también para la desinfección de los almácigos y medios de cultivo en contenedores o macetas. La solarización en campos abiertos se esta implementando paulatinamente en todo el mundo (Stapleton, 2000). El costo de esta técnica es relativamente bajo, el valor de las cosechas producidas y la calidad son altos. Esto se atribuye al simple hecho de producir plantas libres de enfermedades y así producir cosechas sanas y más abundantes.

La solarización del suelo es una práctica versátil para incorporarla en un programa de agricultura sustentable para controlar fitopatógenos del suelo. El uso de prácticas agrícolas sustentables abre nuevas posibilidades en el desarrollo de alternativas para

controlar fitopatógenos, disminuyendo costos y mejorando las características del suelo, siendo posible su aplicación en sistemas de producción integrada, orgánica y sustentable. La solarización es una técnica que nos aproxima a un nivel de agricultura biológica, ya que mediante el uso de recursos físicos y biológicos naturales se reducen los niveles de infestación a unos que sean económicamente viables.

En México se está desarrollando un programa de inocuidad alimentaria por lo tanto la solarización como desinfectante de suelos es una herramienta opcional debido al alto índice de brotes de enfermedades asociadas al consumo de alimentos, público más conciente y exigente en alimentos de calidad, implicaciones comerciales en las exportaciones y riesgos de contaminación por residuos de agroquímicos.

México, un país con una extensión territorial y climatología maravillosa, nos ha permitido a lo largo de su existencia cultivar la mayoría de los productos que consumimos. En los últimos años, la superficie agrícola bajo sistemas de invernadero en México se ha incrementado considerablemente, en los próximos años se espera que los invernaderos en México tengan un ritmo de crecimiento muy acelerado, de entre 20 y 25 por ciento anual, por lo que pasarán de las cuatro mil hectáreas (has) estimadas en la actualidad a unas 6,500 has para el 2010 (Teorema ambiental 2007).

En México, a diferencia de Estados Unidos y Canadá, el sector continúa en su etapa de expansión, con proyectos de invernaderos que van desde el uso de baja tecnología hasta los de alta tecnología. El caso más representativo de producción protegida es el del cultivo de tomate, durante el período 2003-2004 este cultivo representó el 73 % de la superficie de invernadero, seguido del pimiento con el 11%, del pepino con 4 % y otros con el 12%.

México se ha convertido en un dinámico país exportador de frutas y hortalizas dirigidas hacia EUA. Las hortalizas y las frutas mexicanas son un gran éxito. Por muchos años, México ha sido el mayor proveedor de hortalizas para EUA. En 2006, México suplió el 65 % de las hortalizas importadas en EUA como se muestra en la Figura 12 A y Figura 12 B (Ocaña, 2007).

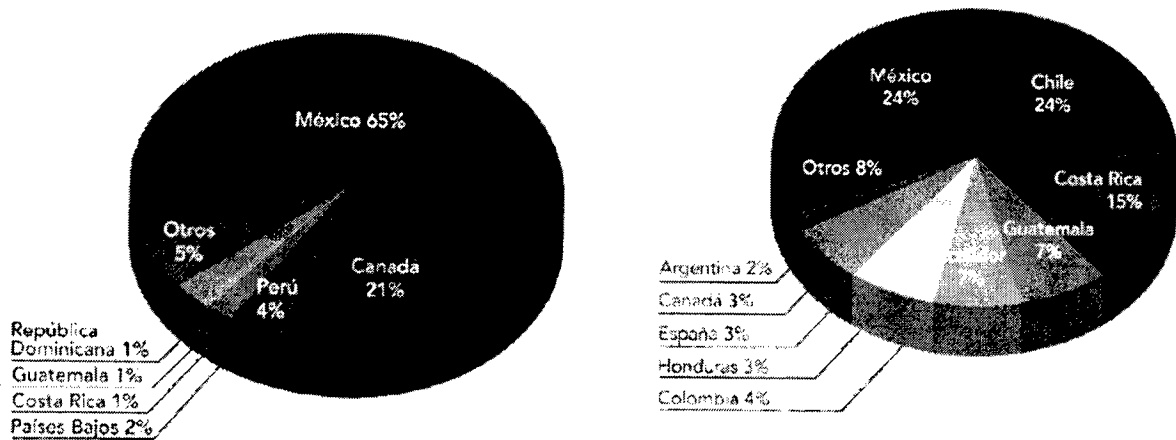


Figura 12 (A). Países proveedores de hortalizas para EUA durante el 2006 (% valor), (B) Países proveedores de frutas para EUA durante el 2006 (% valor).

En la actualidad solo hay una patente referente a la solarización, la cual se presenta a continuación.

Patent No.	Bueno	Fecha	Aplicación No.	Fecha
EP 850980	A1	19980701	EP 1997-500228	19971229
EP 850980	B1	20020424		
		R: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL, SE, MC, PT, IE, SI, LT, LV, FI, RO		
ES 2141650	A1	20000316	ES 1996-2762	19961231
ES 2141650	B1	20001116		
IL 122797	A	20000831	IL 1997-122797	19971229
PT 850980	T	20021031	PT 1997-500228	19971229
<u>Priority Application</u>				
ES 1996-2762	A	19961231		

Las películas plásticas transparentes de 10-50 μ , abarcando los polímeros tales como, polietileno de baja densidad, copolímero acetato vinil etileno y el copolímero de etileno-1-buteno, 0.1-5% surfactantes aniónicos tales como monostearato de sorbitol, monostearato de glicerina y oxietilenmonoesterato de sorbitol, y opcionalmente, un mineral micronizado y microporoso más dosifier que absorbe el surfactante. La película plástica tiene características hidrofilitas e incremento en la transmisión de la energía solar (Espy y Tapia, 1998).

CONCLUSIONES

El método de solarización es una técnica efectiva y ambientalmente compatible con otros métodos, incluyendo materia orgánica, organismos de control biológico, y pesticidas para el combate de diversas plagas del suelo siempre que se aplique en las épocas adecuadas del año a fin de garantizar la radiación solar y calor requerido.

La técnica de solarización también contribuye a un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas cultivables, se presenta como una alternativa viable para sustituir o reducir las aplicaciones de plaguicidas químicos dirigidas para el control de organismos nocivos del suelo, particularmente del Bromuro de Metilo u otros desinfectantes del suelo, por lo que su aplicación reduciría los riesgos de daños al ambiente y al ser humano.

Los autores manejan la duración de la solarización desde 28 a 79 días, para el control de hongos y nematodos presentes en los suelos hortícolas, y para el control de las malezas va de hasta 100 días, obteniéndose con ello un mejor control de la diversidad de patógenos y malezas, las películas plásticas que utilizan son de polietileno transparente de un grosor de 15 a 50 μ con características especiales para incrementar la temperatura del suelo y mantenerlo en un mayor tiempo posible, para así lograr un mayor efecto.

RECOMENDACIONES

- ◆ El tiempo óptimo de solarización es a un promedio de 30-60 días dependiendo de la época del año y de la estructura del suelo.
- ◆ Realizar la incorporación de materia orgánica y agentes biológicos mas la solarización para potenciar su efecto sobre las poblaciones de microorganismos fitopatógenos.
- ◆ Validar la solarización en diferentes latitudes y con diferentes cultivos agrícolas y en diferentes tipos de suelo, tanto a cielo abierto como en invernadero.
- ◆ Utilizar películas de PE transparente de baja densidad para abaratar costos e incrementar la eficacia del calentamiento del suelo.